

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

RODRIGO VIEITAS SARRUF DE ALMEIDA

SIMULAÇÃO DE CANAL FAIXA LARGA *INDOOR* EMPREGANDO O MODELO DE
GERAÇÃO E DESAPARECIMENTO DE RAIOS

NITERÓI
2011

RODRIGO VIEITAS SARRUF DE ALMEIDA

SIMULAÇÃO DE CANAL FAIXA LARGA *INDOOR* EMPREGANDO O MODELO
DE GERAÇÃO E DESAPARECIMENTO DE RAIOS

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia de
Telecomunicações da Universidade
Federal Fluminense, como requisito
parcial para obtenção do Grau de Mestre.
Área de Concentração: Sistemas de
Telecomunicações.

Orientadora: Prof^a Dra. LENI JOAQUIM DE MATOS

Niterói

2011

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

A447 Almeida, Rodrigo Vieitas Sarruf de
Simulação de canal faixa larga *indoor* empregando o modelo de
geração e desaparecimento de raios / Rodrigo Vieitas Sarruf de
Almeida. – Niterói, RJ : [s.n.], 2011.
137 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) -
Universidade Federal Fluminense, 2011.
Orientadores: Leni Joaquim de Mattos.

1. Sistema de computação móvel. 2. Canal radiomóvel. 3.
Acesso múltiplo por divisão de código. I. Título.

CDD 621.38456

RODRIGO VIEITAS SARRUF DE ALMEIDA

SIMULAÇÃO DE CANAL FAIXA LARGA *INDOOR* EMPREGANDO O MODELO DE
GERAÇÃO E DESAPARECIMENTO DE RAIOS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia de Telecomunicações da
Universidade Federal Fluminense, como
requisito parcial para obtenção do Grau de
Mestre. Área de Concentração: Sistemas de
Telecomunicações.

Aprovada em ____ de ____ de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dra. LENI JOAQUIM DE MATOS – Orientadora
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. JULIO CESAR DAL BELLO
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VALE
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. EDSON LUIZ CATALDO FERREIRA
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. ERNESTO LEITE PINTO
Instituto Militar de Engenharia

Niterói

2011

A minha família, especialmente minha filha, cuja chegada este ano me motivou a, finalmente, concluir este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Professora Leni Joaquim de Matos, minha orientadora e idealizadora deste trabalho, pelo apoio em todos os momentos com seu vasto conhecimento sobre o assunto, pelo entusiasmo contagiante e pela paciência.

Aos professores e colegas do curso de mestrado, que colaboraram com críticas e sugestões bastante úteis.

Aos colegas da Anatel, equipe do SGME, pelo apoio e por suprir minha ausência em diversos momentos.

A minha família, minha esposa, Flávia, e minha filha, Ana Clara, pela força e motivação.

RESUMO

Baseada no espalhamento temporal segundo um processo de Poisson, e partindo de um modelo de propagação para a análise do efeito do desvanecimento multipercurso, no problema perto-longe em sistema rádio móvel CDMA, a técnica de Geração e Desaparecimento de Raios é aqui empregada na simulação de canal faixa larga indoor. Para isso, parâmetros como espalhamento de retardo, número médio de multipercursos (ou raios), tempo médio de vida de um raio, retardo médio e potência média recebida, obtidos por processamento de dados coletados de medições de sinal faixa larga em ambientes indoor, servem como entrada para o processo de simulação. O desempenho da técnica é avaliado através da comparação do parâmetro espalhamento de retardo do canal sondado e do simulado.

Palavras-chave: Geração e desaparecimento de raios, espalhamento de retardo, canal rádio faixa larga

ABSTRACT

Based on time scattering according to a Poisson process, and starting from a propagation model for the analysis of the effect of the multipath fading in the near-far problem in CDMA mobile radio system, the technique of Generation and Disappearance of Paths is here employed in the indoor wideband channel simulation. For this, parameters like delay spread, average number of paths, average life of a path, average delay and average received power, all obtained by processing of acquired data from wideband signal measurements in indoor environments, are used as input parameters for the simulation process. The performance of the technique is valued through the comparison of the delay spread in the sounding channel and the simulated channel.

Keywords: Generation and disappearance of scattered waves, delay spread, wideband radio channel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	BREVE HISTÓRICO	14
1.2	TRABALHOS RELACIONADOS	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.4	ROTEIRO	16
2	TEORIA DE CANAL	18
2.1	INTRODUÇÃO	18
2.2	CARACTERIZAÇÃO FAIXA ESTREITA	18
2.3	CARACTERIZAÇÃO FAIXA LARGA	24
2.3.1	Caracterização de Canais Determinísticos	24
2.3.2	Caracterização de Canais Aleatórios	25
2.3.3	Canais Reais	27
2.4	PARÂMETROS DE DISPERSÃO	30
2.4.1	Parâmetros de Dispersão Temporal	31
2.4.1.1	Retardo Médio e Espalhamento de Retardo	31
2.4.1.2	Banda de Coerência	33
3	TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO DE CANAL	35
3.1	INTRODUÇÃO	35
3.2	TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO DE CANAIS RADIOMÓVEIS	35
3.3	MODELOS GWSS-US	36
3.4	Modelos Físicos	38
3.4.1	Modelo Auto-Regressivo	39
3.4.2	Geração Sucessiva de Respostas Instantâneas	42
3.4.3	Técnica de Geração e Desaparecimento de Raios	45
4	DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA SIMULAÇÃO APLICANDO A TÉCNICA GDR	50
4.1	INTRODUÇÃO	50
4.2	PARÂMETROS DE ENTRADA	50
4.2.1	Setup de Medição	51
4.2.2	Ambiente de Medição	52
4.2.3	Extração dos Dados de Entrada	54
4.3	PROGRAMA DA TÉCNICA GDR	61
4.3.1	Interface	61

4.3.2	Núcleo do Programa	67
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
5.1	INTRODUÇÃO	72
5.1	SIMULAÇÃO COM A TÉCNICA GRD	72
5.1.1	Ambiente A1.....	72
5.1.2	Ambiente A2.....	90
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	96
5.1	CONCLUSÕES.....	96
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
7	APÊNDICES E ANEXOS	102
7.1	APÊNDICE I Programa de Simulação no Matlab	102
7.2	APÊNDICE II Programa de Simulação no Matlab	127

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 2.1 - Envoltória de um sinal recebido em relação à distância, f.19
- Fig. 2.2 - Modelo de Clarke, f.20
- Fig. 2.3 - Modelo de Aulin, f.21
- Fig. 2.4 - Espectro de Doppler de RF, f.23
- Fig. 2.5 - Relação entre as funções de sistema, f.25
- Fig. 2.6 - Relação entre as funções de autocorrelação, f.26
- Fig. 2.7 - Relação entre as funções de correlação para canais WSSUS, f.30
- Fig. 2.8 - Perfil de Retardos, f.31
- Fig. 2.9 - Banda de Coerência (BC), f.34
- Fig. 3.1 - Técnicas de Simulação, f.36
- Fig. 3.2 - Simulador “Jakes” de canal faixa estreita, f.37
- Fig. 3.3 - Filtro transversal que simula a resposta do canal, f.38
- Fig. 3.4 - Diagrama de blocos do modelo auto-regressivo, f.41
- Fig. 3.5 - Modelo Matemático para Simulação de Respostas Instantâneas, f.42
- Fig. 3.6 - Modelo Δ -K Empregado no Processo Modificado de Poisson, f.43
- Fig. 3.7 - Distribuição do número de raios em relação ao número N de bins ($K = 0.5$), f.44
- Fig. 3.8 - Distribuição do número de raios em relação ao número N de bins ($K = 2$), f.44
- Fig. 3.9 - Surgimento e desaparecimento de raios ao longo do tempo, f.46
- Fig. 3.10 - Fluxo de Simulação para Uso na Técnica GDR, f.49
- Fig. 4.1 - Sondagem do canal com o analisador de rede vetorial, f.51
- Fig. 4.2 - Cenário do Ambiente A1, *indoor-outdoor*, f.53
- Fig. 4.3 - Cenário do Ambiente A3, *indoor-outdoor*, f.53
- Fig. 4.4 - Cenário do Ambiente A1, somente com pontos *indoor*, f.53
- Fig. 4.5 - Cenário do Ambiente A3, somente com pontos *indoor*, f.53
- Fig. 4.6 - Cenário do Ambiente A5, *indoor-outdoor*, f.54
- Fig. 4.7 - Cenário do Ambiente A5, somente com pontos *indoor*, f.54
- Fig. 4.8 - Tela inicial do programa da técnica GDR, f.62
- Fig. 4.9 - Tela com as opções de simulação da técnica GDR, f.64
- Fig. 4.10 - Tela de escolha dos ambientes para simulação, f.65
- Fig. 4.11 - Tela de seleção manual dos parâmetros de entrada, f.67
- Fig. 5.1 - Medida de amplitude no ponto 1-1 do ambiente A1, f.73
- Fig. 5.2 - Medida de fase no ponto 1-1 do ambiente A1, f.73
- Fig. 5.3 - Janela Blackman-Harris de 3 termos com 1601 pontos, f.74
- Fig. 5.4 - Módulo de $T(f,t)$ relativa ao ponto 1-1, após aplicação das janelas, f.75
- Fig. 5.5 - Perfil de Potência de Retardos, f.76
- Fig. 5.6 - Perfil de Retardo “Limpo” do Ponto 1-1, f.77
- Fig. 5.7 - Perfil de Retardos com variação das Janelas, f.78
- Fig. 5.8 - Gráfico com todos os perfis de retardo do ponto 1 do Ambiente A1, f.79
- Fig. 5.9 - Média dos parâmetros do grid do local 1 do Ambiente A1, f.80
- Fig. 5.10 - Perfil Médio do grid do local 1 do Ambiente A1, f.81
- Fig. 5.11 - Simulação de 500 perfis com a técnica GDR, f.82
- Fig. 5.12 - Histograma do Espalhamento de Retardos do Local 1 do Ambiente A1, f.83
- Fig. 5.13 - Função Distr. de Probabilidade do Esp. de Retardos, local 1 do Ambiente A1, f.83
- Fig. 5.14 - Comparação dos Valores de Esp. de Retardos do Local 1 do Ambiente A1, f.84
- Fig. 5.15 - Espalh. de Retardos x Número Perfis Simulados para o Local 1 do Amb. A1, f.85
- Fig. 5.16 - Gráficos do Local 2 do Ambiente A1, f.86

Fig. 5.17 - Gráficos do Local 3 do Ambiente A1, f.86
Fig. 5.18 - Gráficos do Local 4 do Ambiente A1, f.87
Fig. 5.19 - Gráficos do Local 5 do Ambiente A1, f.88
Fig. 5.20 - Gráficos do Local 6 do Ambiente A1, f.88
Fig. 5.21 - Gráficos do Local 7 do Ambiente A1, f.89
Fig. 5.22 - Gráficos do Local 1 do Ambiente A2, f.91
Fig. 5.23 - Gráficos do Local 2 do Ambiente A2, f.91
Fig. 5.24 - Gráficos do Local 3 do Ambiente A2, f.92
Fig. 5.25 - Gráficos do Local 4 do Ambiente A2, f.93
Fig. 5.26 - Gráficos do Local 5 do Ambiente A2, f.93
Fig. 5.27 - Gráficos do Local 6 do Ambiente A2, f.94
Fig. 5.28 - Gráficos do Local 7 do Ambiente A2, f.95

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Parâmetros de Entrada, f.51

Tabela 4.2 - Características dos equipamentos e parâmetros configurados, f.52

Tabela 4.3 - Parâmetros medidos, f.60

Tabela 5.1 - Características das Janelas do Programa, f.75

Tabela 5.2 – Parâmetros obtidos em relação ao limiar, f.77

Tabela 5.3 – Parâmetros obtidos em relação à Janela Aplicada, f.78

Tabela 5.4 – Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A1, f.81

Tabela 5.5 – Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A2, f.90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Breve Histórico

O primeiro uso bem sucedido do canal rádio móvel ocorreu no final do século 19, quando Marconi estabeleceu um *link* rádio entre uma estação em terra e um rebocador, em um percurso de mais de 28 km [1]. Desde então, os sistemas móveis têm se desenvolvido e expandido consideravelmente. Sua utilidade foi reconhecida, inicialmente, pelos serviços de segurança pública (polícia, corpo de bombeiros, proteção de áreas florestais, manutenção de rodovias etc), seguido pelo setor privado (energia elétrica, petróleo, indústria do cinema, serviços de transporte etc), e a taxa de crescimento desses serviços nos Estados Unidos na década de 50 era maior que 20% ao ano. Já em 1963, o número de usuários ultrapassava 1,3 milhões, apesar de somente poucos canais estarem disponíveis [1].

Apesar da demanda para serviços móveis aumentar continuamente por muitos anos, pesquisas com rádio móveis, para desenvolvimento de sistemas com requerimentos específicos operacionais e técnicos, era uma atividade em menor escala internacional, até meados da década de 60 [2]. Adicionalmente, era óbvio que os sistemas existentes tinham atingido os limites de desenvolvimento suportados pela tecnologia relativamente simples daquele tempo. Estes fatores, entre outros, tornaram claro que um maior esforço estratégico em pesquisa era necessário e os resultados destas pesquisas são, atualmente, evidentes em todos os lugares minimamente desenvolvidos do mundo, onde o público, em geral, tem acesso aos serviços móveis de telefonia e transmissão de dados, utilizando as mais diversas tecnologias.

Dentre todas as atividades de pesquisa conduzidas ao longo dos anos, aquelas que envolvem caracterização e modelagem do canal rádio estão entre as mais importantes e fundamentais. O canal de propagação está relacionado com muitos dos problemas e limitações que envolvem os sistemas rádio móveis. Um exemplo óbvio é a propagação multipercurso, que é a principal característica do canal rádio móvel e é causada pela difração e espalhamento

nas irregularidades do terreno e obstáculos. Isto leva à distorção em sistemas de comunicação analógicos e afeta, profundamente, o desempenho de sistemas digitais, reduzindo a relação sinal-ruído e portadora-interferência. O entendimento físico e o consequente modelamento matemático do canal é muito importante, porque facilita uma predição mais precisa do desempenho do sistema e proporciona um mecanismo para avaliar e testar métodos para mitigação dos efeitos nocivos causados no sinal rádio.

A importância da caracterização do canal rádio móvel se reflete na Universidade Federal Fluminense, que já produziu diversos trabalhos sobre o assunto e esta dissertação, mais especificamente, visa dar a sua contribuição no estudo e modelagem do canal faixa larga.

1.2 Trabalhos Relacionados

Este trabalho pode ser melhor compreendido e analisado, caso seja visto dentro do contexto dos trabalhos atuais sobre canal rádio móvel, por isso, será aberto um breve parêntese para colocar, de maneira resumida, outras dissertações da Universidade Federal Fluminense e como este trabalho complementa e se relaciona com estes outros projetos.

Inicialmente, destaca-se a primeira tese concluída do mestrado de engenharia de telecomunicações da UFF, elabora por Christiano Souza [3] e defendida em 2006. Esta tese, denominada “Análise da dispersão temporal de canais de banda ultralarga (UWB) através de medidas realizadas em ambientes internos e externos”, apresentou os resultados de diversas medições faixa larga, obtidas com a técnica de varredura em frequência. Os parâmetros de dispersão temporal obtidos por Souza foram extremamente úteis para as simulações no presente trabalho.

Posteriormente, teve-se a tese do Fábio Leal [4], “Modelo auto-regressivo aplicado na simulação de um canal rádio para sinais de banda ultralarga”, de 2009, que partiu das medidas de Souza e calculou os parâmetros do modelo auto-regressivo (AR) aplicando o princípio da máxima entropia. Os resultados simulados de Leal são interessantes, entre outros motivos, porque permitem a avaliação e comparação dos resultados desta tese.

Cabe destacar, ainda, o trabalho denominado “Máquina de vetor de relevância aplicada à estimação do canal multipercurso faixa-larga” de João Cal Braz [5] de 2010. Este trabalho merece destaque por dois motivos principais: em primeiro lugar, realizou uma campanha de medidas faixa larga com a obtenção de parâmetros de dispersão temporal que podem ser utilizados para simulação e, em segundo lugar, oferece um algoritmo para limpeza do perfil de retardos, que independe da adoção de um limiar mínimo de detecção.

1.3 Objetivos

A partir da análise dos trabalhos anteriores pode-se definir, mais claramente, a proposta deste trabalho. O objetivo principal é analisar uma técnica de simulação (técnica de Geração e Desaparecimento de Raios) desenvolvida para canais CDMA por Karasawa [6], e aplicá-la em ambientes *indoor* e *indoor-outdoor*. O ineditismo deste trabalho está na aplicação e validação desta técnica de simulação para canais de faixa ultra-larga. Outro fator diferencial deste trabalho é o desenvolvimento de uma interface gráfica para facilitar a operação do programa e que permite a implementação de novas funcionalidades. Por último, os resultados da técnica são avaliados através da comparação dos valores medidos e simulados dos parâmetros de dispersão temporal e é testada a convergência do processo de simulação.

1.4 Roteiro

Além deste capítulo introdutório, que busca posicionar esta tese no cenário de trabalhos sobre canal rádio móvel, foram organizados mais cinco capítulos para atingir os objetivos propostos.

O Capítulo 2 apresenta os conceitos fundamentais de teoria de canal, incluindo o equacionamento clássico de canais faixa larga [7] e [2], e a análise de parâmetros de dispersão temporal, empregados neste trabalho.

O Capítulo 3 trata dos modelos de simulação de canal faixa larga, com ênfase na técnica proposta por Iwai e Karasawa [6] e denominada como técnica de Geração e Desaparecimento de Raios (GDR).

O Capítulo 4 demonstra o desenvolvimento da interface e do programa de simulação da técnica GDR, aplicada a ambientes *indoor* e *indoor-outdoor*, além de detalhar a obtenção dos parâmetros de entrada do programa.

No Capítulo 5, são avaliados os resultados da técnica de simulação empregada e comparados os parâmetros medidos e simulados. Adicionalmente, é feita uma análise da convergência do processo de simulação.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 TEORIA DE CANAL

2.1 Introdução

O canal rádio, claramente, limita o desempenho dos sistemas de comunicação. Para determinar os métodos de mitigação das variações causadas, especialmente pelos multipercursos, é essencial que o canal seja adequadamente caracterizado [2]. Inicialmente, podemos dividir a caracterização do canal em:

- Caracterização Faixa Estreita
- Caracterização Faixa Larga

O tipo de medição influencia diretamente nos parâmetros do canal que serão analisados. Na sondagem faixa estreita, é possível verificar as variações espacial e temporal do sinal, identificando as distribuições estatísticas que melhor se ajustam à variabilidade lenta e rápida do sinal. Na sondagem faixa larga, é possível obter os parâmetros de dispersão temporal e espectral, como: espalhamento de retardo, banda de coerência, espalhamento Doppler e tempo de coerência.

Este capítulo apresenta a teoria de canal necessária para analisar as técnicas de simulação exploradas neste trabalho. Ênfase especial é dada aos parâmetros de dispersão temporal do canal, pois serão amplamente utilizados como dados de entrada e, principalmente, para verificar o desempenho da técnica utilizada.

2.2 Caracterização Faixa Estreita

Na caracterização faixa estreita, transmite-se um tom, sendo realizada a sondagem do canal em apenas uma frequência. Assim, é possível analisar as flutuações do sinal (variação lenta e rápida) e a perda no percurso (*path loss*). A Figura 2.1 ilustra um sinal de variação rápida, medido em um ambiente particular, onde podem ser vistos, também, o sinal de variação lenta e a perda no percurso [8].

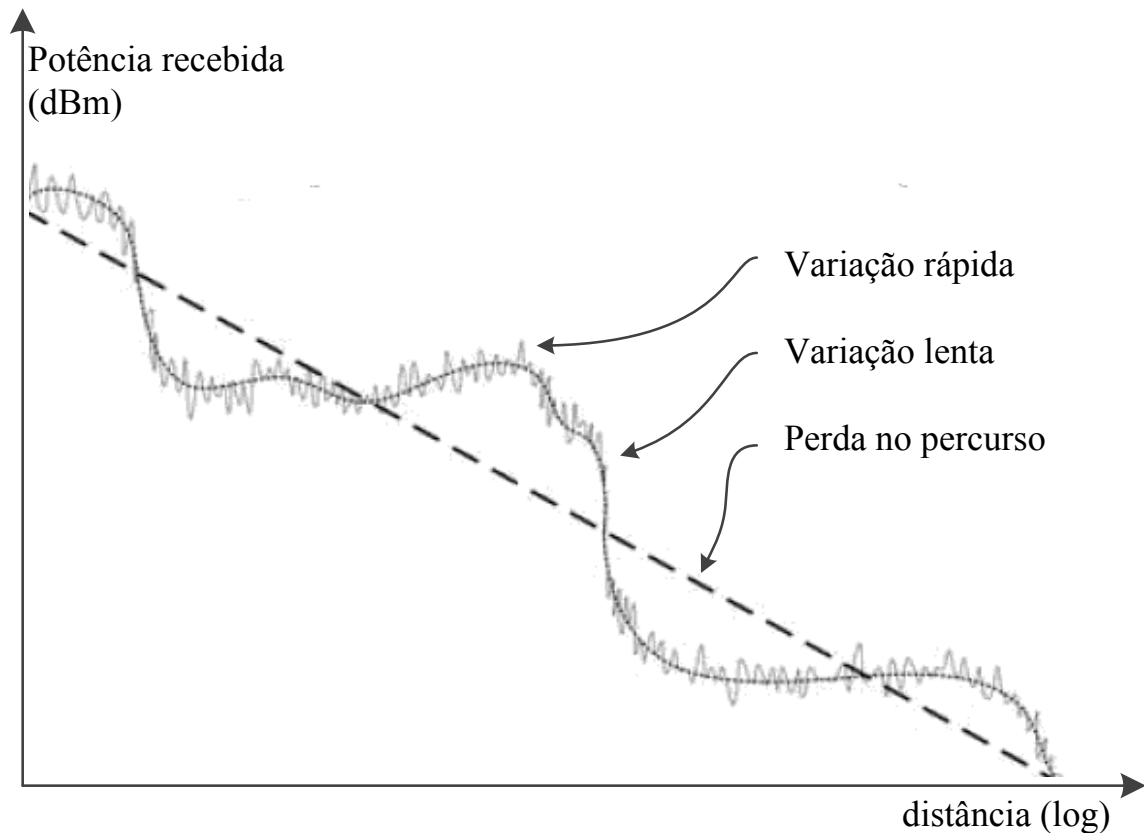


Figura 2.1 Envoltória de um sinal recebido em relação à distância

A variação rápida do sinal é causada, principalmente, pela propagação multipercurso e diversos modelos foram propostos para analisar este fenômeno. Para tais modelos, que buscam apenas a variabilidade rápida, considera-se um pequeno trecho, correspondente a um intervalo de 20 a 40 λ , segundo Lee [9], onde a variação lenta é praticamente constante, portanto, podendo-se estudar apenas o *fading* rápido. Ossanna [10] propôs um dos primeiros modelos estatísticos que se ajustava, principalmente, para áreas suburbanas. Neste, o pressuposto básico era considerar por vez apenas um refletor vertical, consequentemente uma interferência era formada pela onda direta e refletida sobrepostas. A orientação do refletor era aleatória e os parâmetros não aleatórios eram velocidade e direção do transmissor.

Posteriormente, Clarke [11] fez medidas e comparações com o modelo e verificou que o espectro de potência teórico da envoltória divergia das medições em frequências muito baixas e em frequências próximas ao máximo deslocamento Doppler. Ele utilizou um novo

modelo proposto por Gilbert [12], colocando Ossanna como um caso específico. Este modelo pode ser esclarecido através da Figura 2.2.

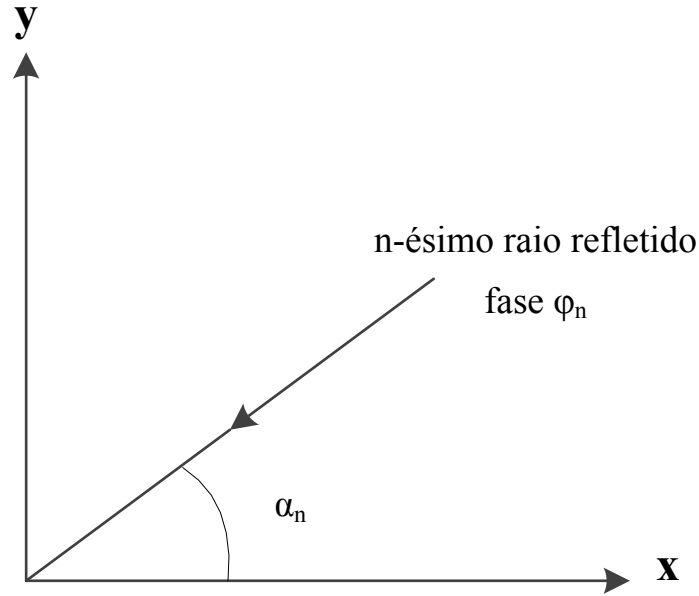


Figura 2.2 Modelo de Clarke

A Figura 2.2 mostra o n -ésimo raio de N ondas planas refletidas verticalmente polarizadas, viajando no plano horizontal. Cada onda tem um ângulo de chegada α_n e fase φ_n , esta uniformemente distribuída de 0 a 2π , e estatisticamente independente. O campo resultante em um determinado ponto (x_0, y_0) , é descrito nas equações (2.1) e (2.2).

$$E(t) = \sum_{n=1}^N E_n(t) \quad (2.1)$$

e

$$E(t) = \sum_{n=1}^n \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \cos \alpha_n + y_0 \sin \alpha_n) + \varphi_n \right] \cdot \cos \omega_c t - \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \cos \alpha_n + y_0 \sin \alpha_n) + \varphi_n \right] \cdot \sin \omega_c t \quad (2.2)$$

sendo ω_c a frequência da portadora e λ , o comprimento de onda. Neste modelo, conhecido como de Clarke, considera-se que as ondas viajam no plano horizontal, entretanto, isto não é verdade em um ambiente urbano em que transmissor e receptor estejam próximos.

Aulin [13] modificou o modelo de Clarke, generalizando para o caso em que os raios refletidos que chegam ao receptor não viajam, necessariamente, no plano horizontal. A Figura 2.3 ilustra uma típica componente de onda refletida deste modelo, que possui um ângulo de chegada α_n no plano x-y e β_n em relação ao plano x-y, e cada onda está associada a uma amplitude c_n e uma fase φ_n .

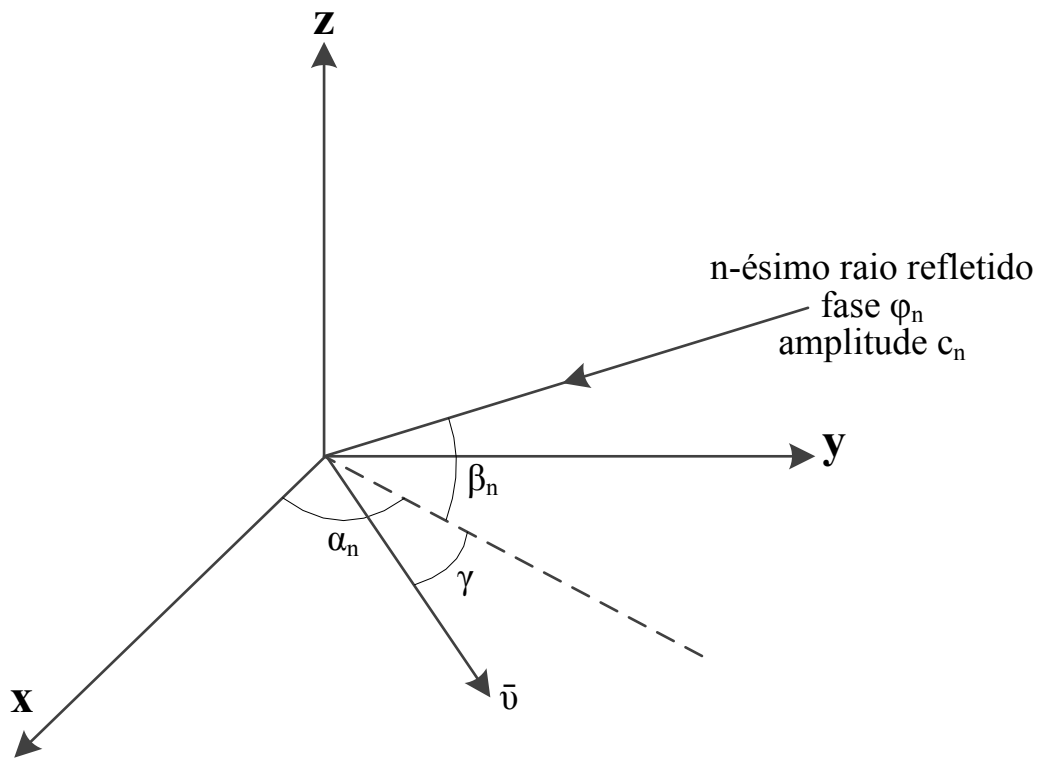


Figura 2.3 Modelo de Aulin

Os parâmetros α_n , β_n , c_n e φ_n são aleatórios e estatisticamente independentes. Adicionalmente: $E\{c_n^2\} = E_0/N$, onde N é o número de raios e E_0 é uma constante positiva. O parâmetro φ_n é uniformemente distribuído de 0 a 2π e α_n e β_n possuem funções densidade de probabilidade p_α e p_β , respectivamente. O campo resultante em um ponto pode, agora, ser reescrito como:

$$E(t) = c_n \cdot \cos \left[\omega_c t - \frac{2\pi}{\lambda} (x_0 \cos \alpha_n \cos \beta_n + y_0 \sin \alpha_n \cos \beta_n + z_0 \sin \beta_n) + \varphi_n \right] \quad (2.3)$$

Quando o receptor se desloca de pequenas distâncias no plano x-y, com uma velocidade constante v e um ângulo γ , como mostrado na Figura 2.3, o campo resultante é:

$$E(t) = T_c(t) \cdot \cos \omega_c t - T_s(t) \cdot \sin \omega_c t \quad (2.4)$$

onde

$$T_c(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos (\omega_n t + \theta_n) \quad (2.5)$$

$$T_s(t) = \sum_{n=1}^N c_n \sin (\omega_n t + \theta_n) \quad (2.6)$$

e

$$\omega_n = \frac{2\pi v}{\lambda} \cos (\gamma - \alpha_n) \cos \beta_n \quad (2.7)$$

$$\theta_n = \frac{2\pi z_0}{\lambda} \sin \beta_n + \varphi_n \quad (2.8)$$

Para o cálculo da envoltória $r(t)$, do sinal de variabilidade rápida, e da fase $\varphi(t)$, temos:

$$r(t) = \sqrt{T_c^2 + T_s^2} \quad (2.9)$$

$$\varphi(t) = \tan^{-1} \left(\frac{-T_s}{T_c} \right) \quad (2.10)$$

Após o desenvolvimento matemático que consta em [13], onde N é suposto muito grande, com funções densidade de probabilidade de T_c e T_s gaussianas de média nula,

formando um processo gaussiano complexo, verifica-se que a envoltória possui uma função distribuição de probabilidade do tipo Rayleigh, onde:

$$p_r = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right), \quad r \geq 0 \quad (2.11)$$

Buscando o espectro Doppler de RF (radiofrequência), Clarke [13] concluiu que:

$$\begin{aligned} & \mathcal{F}\{E[E(t) \cdot E(t + \tau)]\} \\ &= \frac{E_0}{4\pi f_m} \left\{ \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_m}\right)^2\right]^{1/2}} \right\} \end{aligned} \quad (2.13)$$

onde $f_m = v/\lambda$ é o máximo deslocamento Doppler observado. No caso de Aulin, o espectro obtido se apresenta com uma forma diferenciada nas frequências mais afastadas, onde o mesmo passa a ser finito. Reproduzindo tal espectro [2], a Figura 2.4 o ilustra, junto com o de Clarke, este comumente conhecido como espectro de “Jakes”.

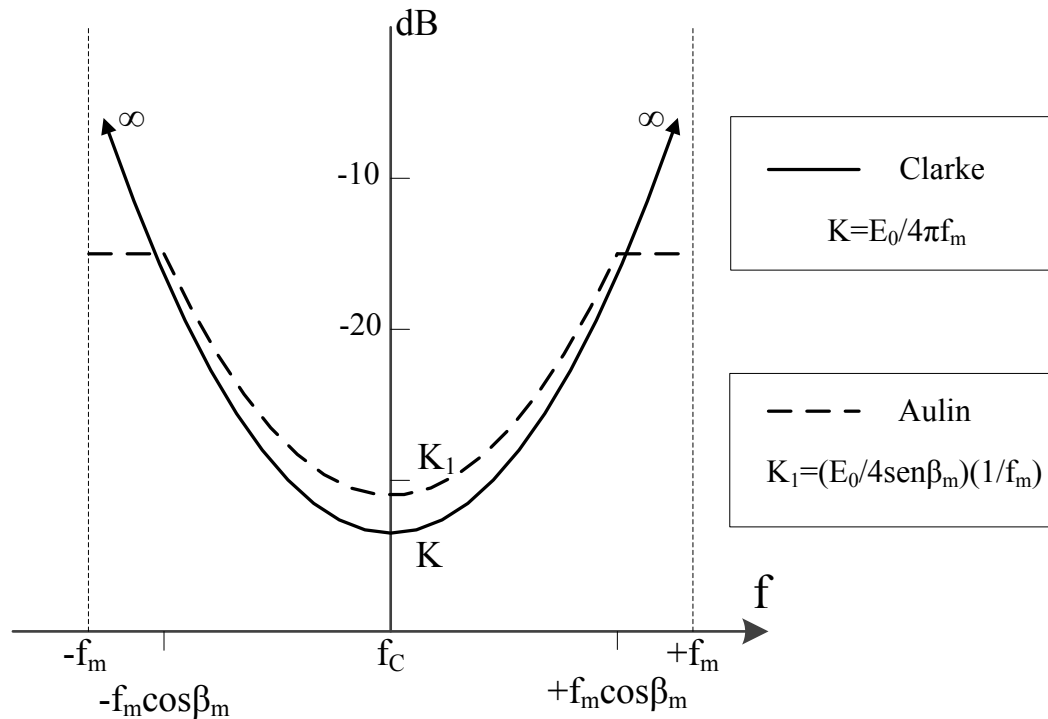


Figura 2.4 Espectro de Doppler de RF

É importante observar que as formas de ambos os espectros são semelhantes, apenas Aulin é um modelo mais realístico.

2.3 Caracterização Faixa Larga

Para a análise da caracterização faixa larga, segue-se o ordenamento adotado por Parsons [2], que considera o canal, inicialmente, como um filtro linear deterministicamente variável no tempo. Posteriormente, ele é tratado como aleatoriamente variável no tempo, com as funções do sistema, conseqüentemente, como variáveis aleatórias. Finalmente, são feitas as simplificações, considerando o canal estacionário no sentido amplo e com espalhamento decorrelacionado, ou seja, WSSUS (*Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering*). Fundamenta-se, também, no trabalho de Bello [7], que apresentou de forma compacta e simétrica a caracterização do canal radiomóvel para aplicações gerais ou restritas.

2.3.1 Caracterização de Canais Determinísticos

Inicialmente, consideramos $h(t, \tau)$ como a resposta impulsiva do canal, ou seja, a resposta obtida em um instante t , devido a uma excitação impulsional aplicada há τ segundos. A função $h(t, \tau)$ é chamada “função espalhamento de retardo”. Sendo $y(t)$ a envoltória do sinal, a saída do canal é dada por:

$$z(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t, \tau) y(t - \tau) d\tau \quad (2.14)$$

De acordo com Bello [7], no domínio da frequência, a função do canal pode ser escrita como:

$$Z(f) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f, v) Y(f - v) dv \quad (2.15)$$

A função $H(f, \nu)$, dual de $h(t, \tau)$, representa o espalhamento do sinal de entrada na frequência, no domínio frequência (f) e deslocamento Doppler (ν). De maneira similar, podemos definir a função seletividade no tempo $T(f, t)$ e a função de dispersão Doppler para cada retardo $S(\tau, \nu)$. A Figura 2.5 demonstra como as quatro funções se relacionam através de transformadas de Fourier.

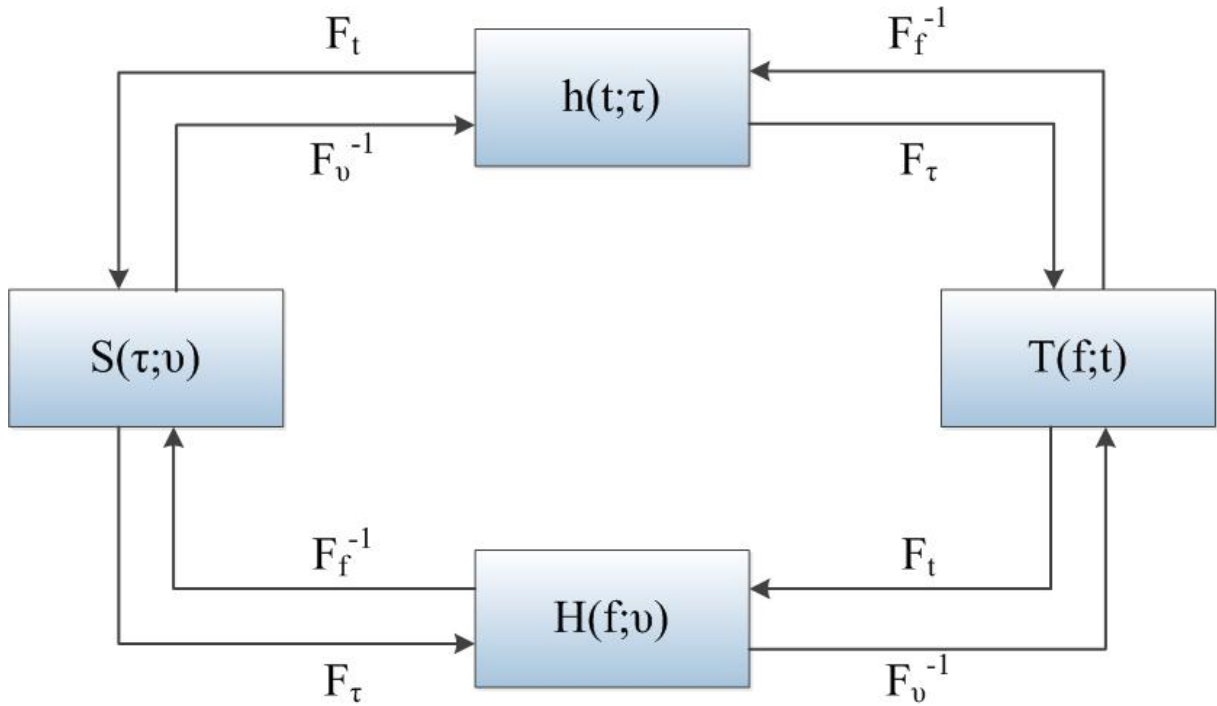


Figura 2.5 Relação entre as funções de sistema

2.3.2 Caracterização de Canais Aleatórios

Na seção 2.3.1, consideramos os canais determinísticos. Na prática, entretanto, os canais são aleatoriamente variantes no tempo. Para descrever a caracterização estatística deste tipo de canal, é necessário o conhecimento das funções densidade de probabilidade conjunta de todas as funções de sistema. Outra maneira, menos complexa, de se obter a caracterização estatística do canal é em termos das funções de autocorrelação das várias funções de sistema.

As funções autocorrelação podem ser definidas como:

$$E[h(t, \tau)h^*(s, \eta)] = R_h(t, s; \tau, \eta) \quad (2.16)$$

$$E[H(f, \nu)H^*(m, \mu)] = R_H(f, m; \nu, \mu) \quad (2.17)$$

$$E[T(f, t)T^*(m, s)] = R_T(f, m; t, s) \quad (2.18)$$

$$E[S(\tau, \nu)S^*(\eta, \mu)] = R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) \quad (2.19)$$

Na Figura 2.5, as relações entre as funções de sistema eram determinadas em função de transformadas simples de Fourier. De maneira similar, as funções autocorrelação estão relacionadas através de transformadas duplas de Fourier. Estas relações estão ilustradas na Figura 2.6.

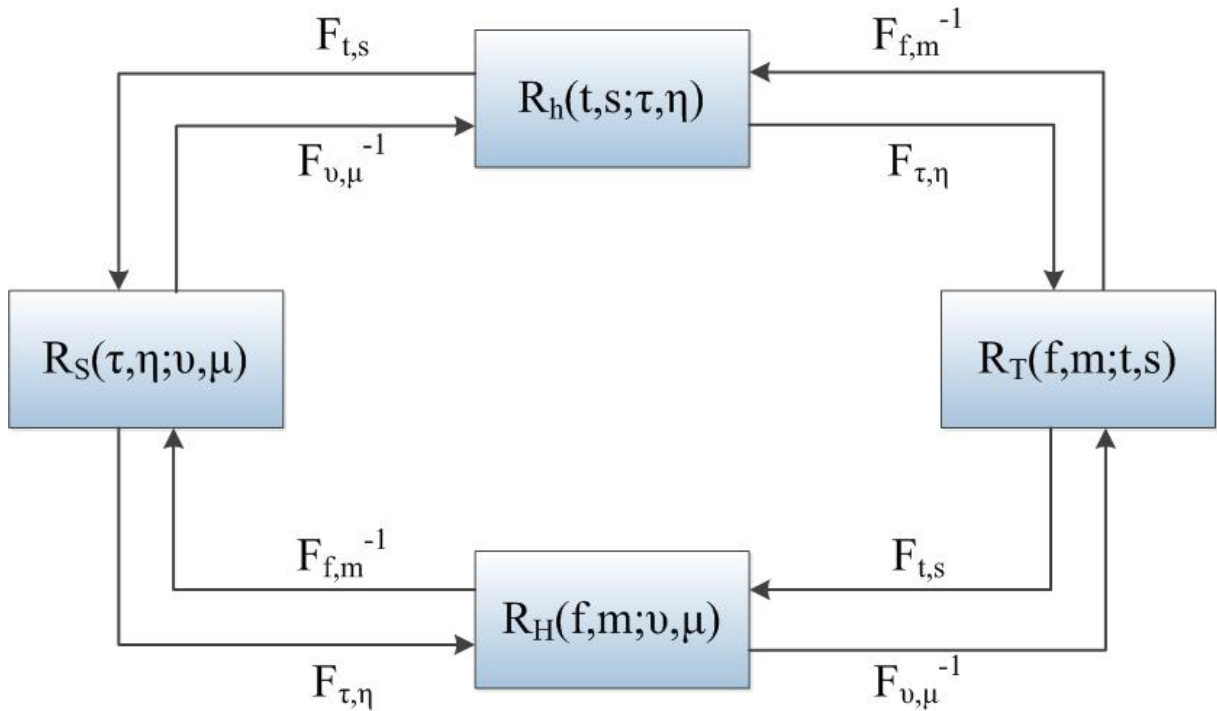


Figura 2.6 Relação entre as funções de autocorrelação

As equações (2.20) a (2.22) descrevem as relações entre as funções de autocorrelação:

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = F_{t,s}\{R_h(t, s; \tau, \eta)\} \quad (2.20)$$

$$R_T(f, m; t, s) = F_{\tau,\eta}\{R_h(t, s; \tau, \eta)\} \quad (2.21)$$

$$R_H(f, m; \nu, \mu) = F_{t,\eta}\{R_S(\tau, \eta; \nu, \mu)\} \quad (2.22)$$

2.3.3 Canais Reais

Canais reais, de acordo com Parsons [2], possuem caracterização estatística que pode ser considerada estacionária para pequenos intervalos de tempo ou para pequenas distâncias. Estes canais, portanto, podem ser classificados como estacionários no sentido amplo (WSS - *Wide-Sense Stationary*), apesar de não serem necessariamente estacionários no sentido estrito. Os canais WSS possuem a seguinte propriedade: as funções de correlação do canal são invariantes no tempo e isto significa que as funções autocorrelação dependem apenas da diferença entre as variáveis de tempo t e s , chamada aqui de variável ξ ($= s - t$). Com isso, podemos reescrever as funções autocorrelação de $h(t, \tau)$ e $T(f, t)$:

$$R_h(t, t + \xi; \tau, \eta) = R_h(\xi; \tau, \eta) \quad (2.23)$$

$$R_T(f, m; t, t + \xi) = R_T(f, m; \xi) \quad (2.24)$$

Aplicando as relações apresentadas na Figura 2.6, a autocorrelação da função de dispersão Doppler $S(\tau, \nu)$ pode ser obtida a partir da autocorrelação da função espalhamento de retardo $h(t, \tau)$:

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = \iint_{-\infty}^{+\infty} R_h(t, s; \tau, \eta) e^{j2\pi(\nu t - \mu s)} dt ds \quad (2.25)$$

Considerando o canal WSS, ou seja, $\xi = s - t$ e utilizando a equação (2.23), temos:

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = \iint_{-\infty}^{+\infty} R_h(\xi; \tau, \eta) e^{j2\pi(\nu t - \mu t - \mu \xi)} dt d\xi \quad (2.26)$$

Arrumando a equação conforme apresentado em [2], temos:

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j2\pi t(\nu - \mu)} dt \int_{-\infty}^{+\infty} R_h(\xi; \tau, \eta) e^{-j2\pi(\mu\xi)} d\xi \quad (2.27)$$

Na equação (2.27), a primeira integral é um impulso em $\nu = \mu$. A segunda integral pode ser definida como a densidade espectral de potência de espalhamento Doppler-retardo $P_S(\tau, \eta; \nu)$, que é a transformada de Fourier de $R_h(\xi; \tau, \eta)$ em relação à variável ξ . Com isso, a equação (2.27) pode ser reduzida para:

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = \delta(\nu - \mu) P_S(\tau, \eta; \nu) \quad (2.28)$$

De modo análogo, pode-se obter a equação 2.29, onde $P_H(f, m; \nu)$ é a transformada de $R_T(f, m; \xi)$ em relação à variável ξ .

$$R_H(f, m; \nu, \mu) = \delta(\nu - \mu) P_H(f, m; \nu) \quad (2.29)$$

Outra simplificação é considerar o canal com espalhamento descorrelacionado (US - *Uncorrelated Scattering*), o que significa que a contribuição de cada espalhador com retardos distintos é descorrelacionada das demais. Assim, pode-se trabalhar de maneira similar à equação (2.28), desta vez no domínio do retardo, obtendo-se as seguintes funções:

$$R_h(t, s; \tau, \eta) = \delta(\eta - \tau) P_h(\tau, s; \tau) \quad (2.30)$$

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = \delta(\eta - \tau) P_S(\tau; \nu, \mu) \quad (2.31)$$

e sendo P_h e P_S as densidades espectrais de potência, respectivamente, no domínio das funções $h(t, \tau)$ e $S(\nu, \tau)$ e representadas nas equações (2.32) e (2.33).

$$P_h(t, s; \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_T(\Omega; t, s) e^{j2\pi\tau\Omega} d\Omega \quad (2.32)$$

$$P_S(\tau; \nu, \mu) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_H(\Omega; \nu, \mu) e^{j2\pi\tau\Omega} d\Omega \quad (2.33)$$

Bello [7] mostrou que canais WSS e US são duais no tempo e frequência, consequentemente, as funções autocorrelação dos canais US dependem somente da variação de frequência Ω entre as variáveis. Com isso, as autocorrelações das funções $H(f, \nu)$ e $T(f, t)$ podem ser reescritas como:

$$R_H(f, f + \Omega; \nu, \mu) = R_H(\Omega; \nu, \mu) \quad (2.34)$$

$$R_T(f, f + \Omega; t, s) = R_H(\Omega; t, s) \quad (2.35)$$

Pode-se, neste momento, com canais denominados WSSUS, ou seja, simultaneamente estacionários no sentido amplo no domínio do tempo (com espalhadores Doppler descorrelacionados) e com espalhadores descorrelacionados (estacionários no sentido amplo no domínio da frequência), simplificar as funções de correlação do canal:

$$R_h(t, t + \xi; \tau, \eta) = \delta(\eta - \tau) P_h(\xi; \tau) \quad (2.36)$$

$$R_H(f, f + \Omega; \nu, \mu) = \delta(\nu - \mu) P_H(\Omega; \nu) \quad (2.37)$$

$$R_T(f, f + \Omega; t, t + \xi) = R_T(\Omega; \xi) \quad (2.38)$$

$$R_S(\tau, \eta; \nu, \mu) = \delta(\eta - \tau) \delta(\nu - \mu) P_S(\tau; \nu) \quad (2.39)$$

Estas equações levam a interpretações físicas do canal WSSUS. A função de correlação $R_h(t, t + \xi; \tau, \eta)$ indica estacionariedade ampla no domínio do tempo e espalhamentos descorrelacionados no domínio dos retardos. A função $R_H(f, f + \Omega; \nu, \mu)$ apresenta estacionariedade ampla no domínio da frequência e espalhamentos descorrelacionados no domínio dos deslocamentos Doppler. Por sua vez, a função $R_T(f, f + \Omega; t, t + \xi)$ indica estacionariedade tanto no domínio do tempo quanto da frequência. Finalmente, a função $R_S(\tau, \eta; \nu, \mu)$ apresenta espalhamento descorrelacionado simultaneamente no domínio dos retardos e Doppler.

As relações (através de transformadas simples de Fourier) entre as funções de correlação para canais WSSUS estão delineadas na Figura 2.7.

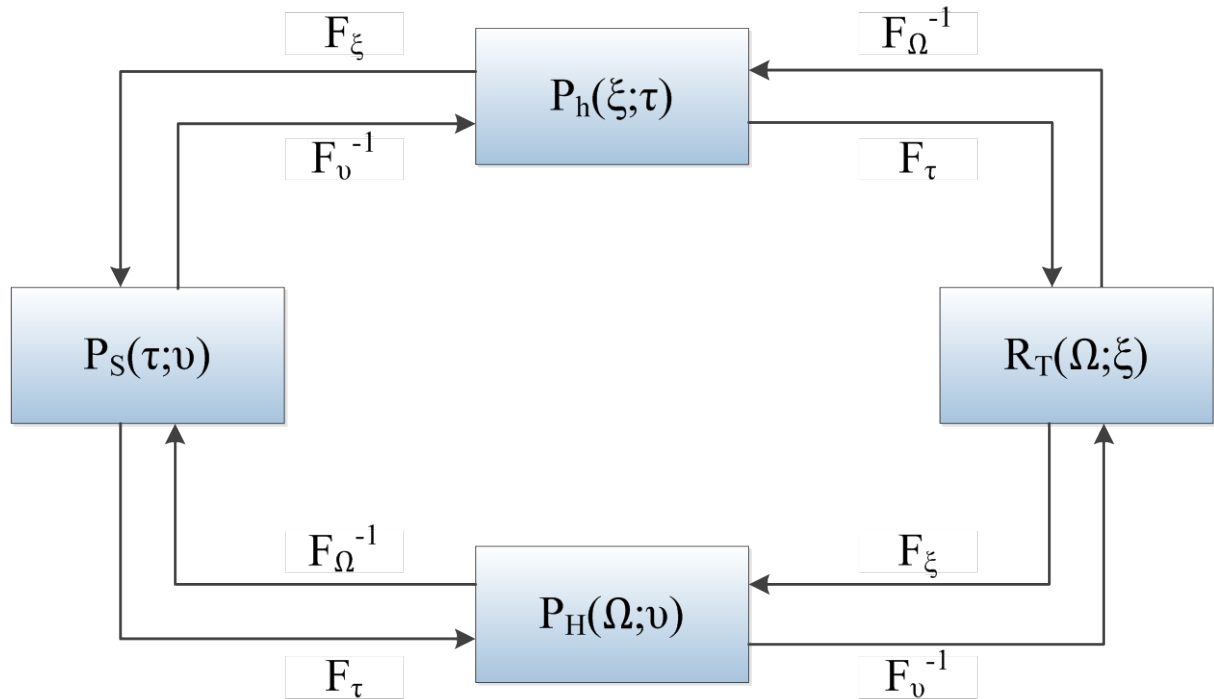


Figura 2.7 Relação entre as funções de correlação para canais WSSUS

2.4 Parâmetros de Dispersão

Pode-se classificar, inicialmente, os parâmetros de dispersão do canal em: parâmetros de dispersão temporal e parâmetros de dispersão na frequência. No tempo, a dispersão é ocasionada pelos espalhadores do ambiente, sendo ela caracterizada pelo retardo médio, espalhamento de retardo e banda de coerência. Estes parâmetros serão definidos neste capítulo e utilizados, posteriormente, na análise das técnicas de simulação. A dispersão na frequência, por sua vez, ocorre devido à mobilidade do receptor, que ocasiona o efeito Doppler.

2.4.1 Parâmetros de Dispersão Temporal

2.4.1.1 Retardo Médio e Espalhamento de Retardo

Devido ao efeito multipercurso na propagação, um sinal transmitido chega ao receptor em diferentes instantes de tempo e com amplitudes variadas. Se um impulso $a\delta(t)$, com amplitude a é transmitido no instante $t = 0$, teremos que o sinal recebido $h(t)$ será da forma:

$$h(t) = \sum_{i=1}^n a_i \delta(t - \tau_i) \quad (2.40)$$

Na equação (2.40), n é o número de espalhadores e a_i e τ_i são, respectivamente, a amplitude e o retardo do i -ésimo multipercurso recebido. Normalmente, quanto maior o percurso, menor a amplitude e maior o retardo, conseqüentemente, é esperado um perfil de retardos como o ilustrado na Figura 2.8.

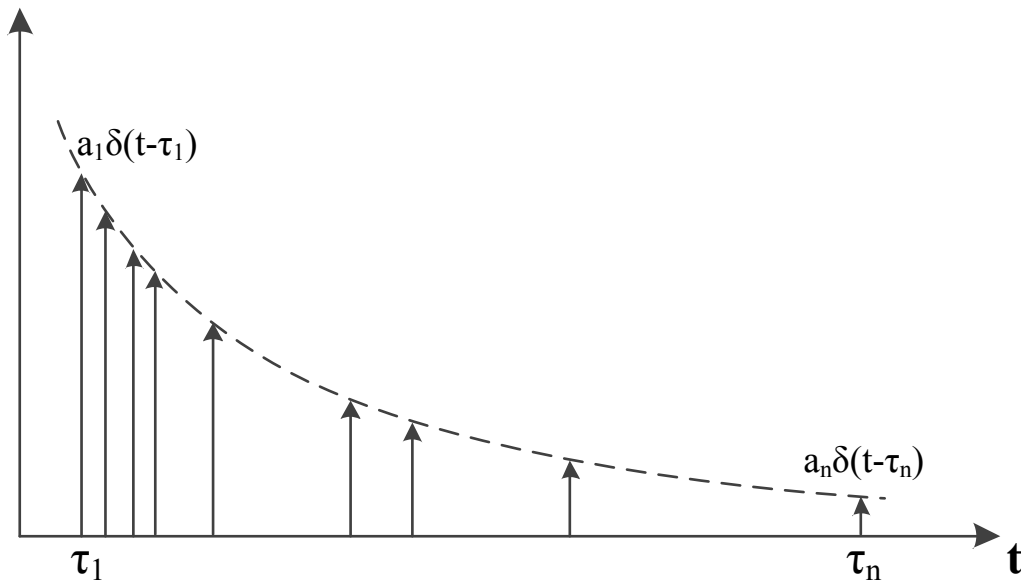


Figura 2.8 Perfil de Retardos

O retardo é, geralmente, caracterizado pela função densidade de probabilidade. O retardo médio $\bar{\tau}$ é a média da função densidade de probabilidade e o espalhamento de retardo σ_τ corresponde ao desvio padrão. Sendo $p(\tau)$ a função densidade de probabilidade de τ , seu k -ésimo momento é [1]:

$$E[\tau^k] \triangleq \int_0^{\infty} \tau^k p(\tau) d\tau \quad (2.41)$$

Consequentemente, o retardo médio é dado por [1]:

$$\bar{\tau} = E[\tau] \quad (2.42)$$

E o espalhamento de retardo é dado por [1]:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{E[\tau^2] - E^2[\tau]} \quad (2.43)$$

Quando se tem o perfil de potência de retardo, o retardo médio é o primeiro momento central do mesmo, ou seja, de $P_h(\tau)$, sendo expresso por:

$$\bar{\tau} = \frac{\int_0^{\infty} \tau P_h(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} P_h(\tau) d\tau} \quad (2.44)$$

O espalhamento de retardos, por sua vez, é a raiz quadrada do segundo momento central de $P_h(\tau)$, podendo ser definido como:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} (\tau - \bar{\tau})^2 P_h(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} P_h(\tau) d\tau}} \quad (2.45)$$

Como os sistemas de aquisição são discretos, podemos reescrever as equações (2.44) e (2.45):

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \tau_i P_h(\tau_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_h(\tau_i)} \quad (2.46)$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (\tau_i - \bar{\tau})^2 P_h(\tau_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_h(\tau_i)}} \quad (2.47)$$

onde N é o número de multipercursos existentes dentro do perfil de potência de retardo. Estes dois parâmetros são extremamente relevantes na caracterização do canal radiomóvel. O retardo médio está relacionado com o erro de variação de fase, enquanto o espalhamento de retardo limita o desempenho dos sistemas de comunicação faixa larga [2].

2.4.1.2 Banda de Coerência

Em um canal radiomóvel, cada componente de frequência do sinal transmitido chega ao receptor com diferentes retardos. É essencial, portanto, determinar a separação máxima em frequência na qual os sinais ainda são considerados correlatados. Esta faixa de frequência é denominada banda de coerência.

Neste ponto, é importante destacar que a banda de coerência é um parâmetro temporal, ao contrário do que pode parecer à primeira vista, pois este parâmetro é obtido a partir da transformada em τ do perfil de retardos (espalhamento temporal).

Os sistemas que operam com canais de banda consideravelmente menores que a banda de coerência, são denominados sistemas banda estreita. Em sistemas faixa estreita, todas as componentes do sinal transmitido são influenciadas igualmente pela propagação multipercurso. Consequentemente, o sinal sofre um desvanecimento não seletivo. Por outro lado, os sistemas faixa larga, foco deste trabalho, operam com canais de banda maiores que a banda de coerência. Em sistemas faixa larga, as diversas frequências que compõem o sinal podem ser afetadas diferentemente pelo desvanecimento, caracterizando o desvanecimento seletivo [1].

A Figura 2.9 mostra como se determina a banda de coerência do canal, uma vez que se tenha o perfil $R_T(\Omega)$ médio de uma série de perfis estacionários no sentido amplo com espalhadores descorrelacionados.

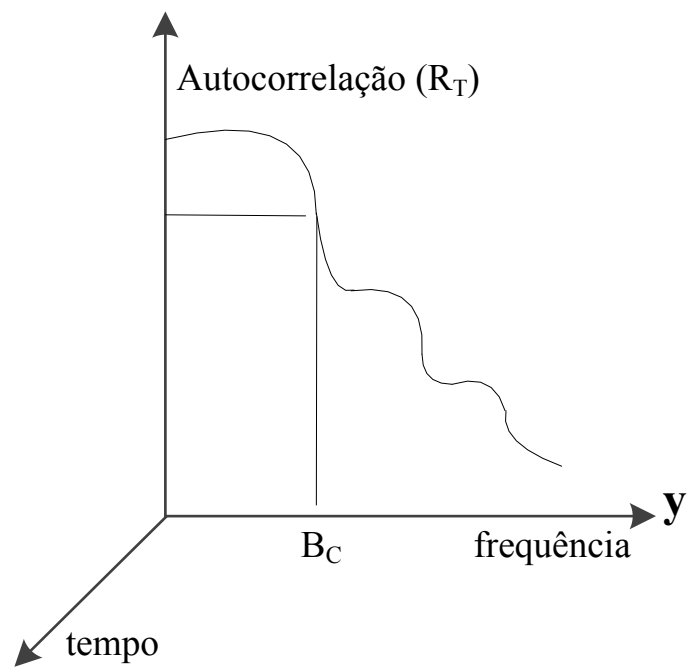


Figura 2.9 Banda de Coerência (B_C)

3 TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO DE CANAL

3.1 Introdução

As medidas em campo de um sinal radiomóvel geralmente consomem grande quantidade de tempo e recursos, já que, para assegurar resultados verdadeiramente representativos das condições reais, é necessária uma extensa campanha de medições. Assim, as técnicas de simulação tornam-se interessantes, pois, buscam uma função de transferência representativa do canal que, embora complexo, pode ser adequadamente representado por distribuições estatísticas conhecidas.

Este capítulo trata das diferentes técnicas de simulação do canal radiomóvel, dando destaque às técnicas de simulação faixa larga e, especialmente, à técnica de Geração e Desaparecimento de Raios, que foi a adotada neste trabalho, para um ambiente *indoor*.

3.2 Técnicas de Simulação de Canais Radiomóveis

A classificação das técnicas consideradas neste trabalho se baseia no modelo utilizado para caracterização do desvanecimento, classificação esta similar à que foi adotada em [14] e [15]. Conforme ilustrado na Figura 3.1, temos duas grandes categorias de técnicas de simulação:

- Simulação baseada no modelo GWSS-US (*Gaussian Wide Sense Stationary-Un correlated Scattering*) e
- Simulação baseada em modelos “físicos”.

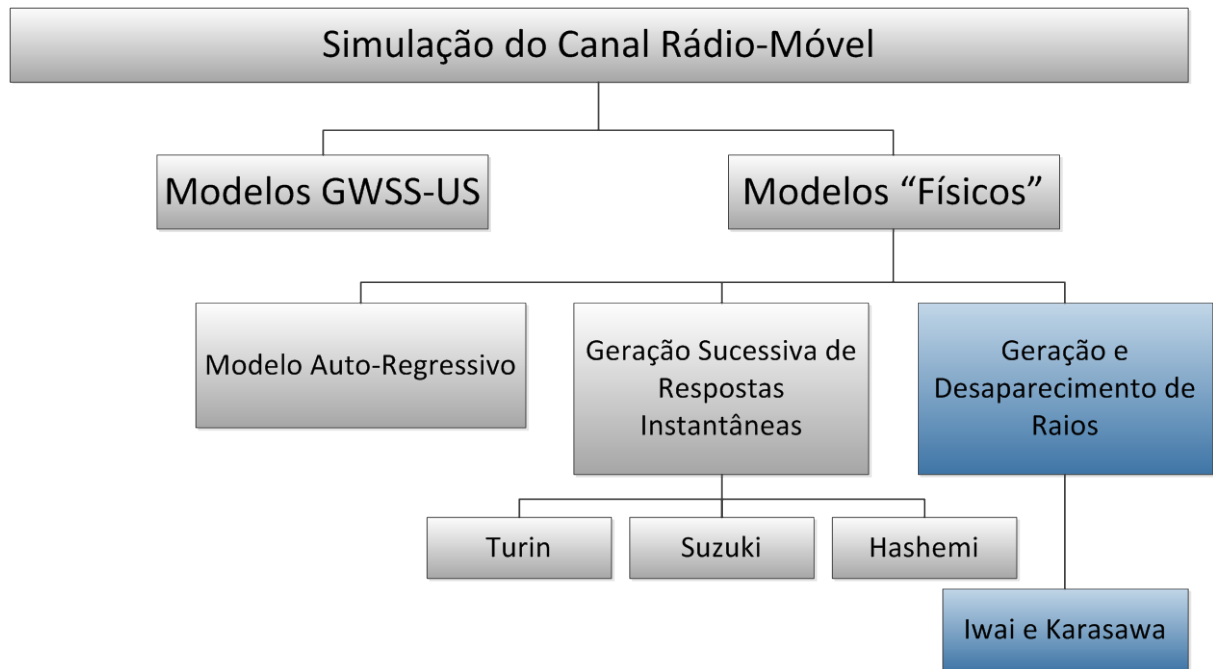


Figura 3.1 Técnicas de Simulação

3.3 Modelos GWSS-US

Os modelos GWSS-US consideram que a resposta do canal $h(\tau, t)$ é dada por uma conjunto de processos estocásticos na variável t , indexados pelos valores de atraso τ [15]. Considera-se que estes processos são estacionários no sentido amplo e decorrelatados entre si. São modelos faixa-estreita, onde o intervalo de símbolo do sinal transmitido é bem maior que o espalhamento de retardo do canal, ou ainda, a resolução temporal associada é de valor elevado, o que quer dizer que somente resolvem multipercursos discretos, afastados entre si. Assim, a simulação empregando tais modelos busca reproduzir as características do desvanecimento de pequena escala, ou rápido, sendo necessária a implementação de um algoritmo que gere processos estocásticos gaussianos estacionários, de média nula e formatação espectral que segue o perfil Doppler, geralmente, o de "Jakes". São, portanto, conhecidos como simuladores de *fading* Rayleigh, como descrito no item 2.2. Dentre eles, o modelo de simulador "Jakes", mostrado na Figura 3.2, é uma aplicação direta da expressão de envoltória do sinal de variabilidade rápida, contudo é de difícil implementação em *hardware*, devido à dificuldade de controle do ganho dos amplificadores e osciladores de amplitudes idênticas, pois o sinal é visto como um somatório de osciladores. É preferível e mais usual, então, o emprego de outras técnicas, que fazem uso da definição de canal radiomóvel, onde

este é visto como um filtro transversal, simulando a resposta do canal, com valores de atrasos fixos. É a técnica recomendada pela ITU (International Communication Union) [16].

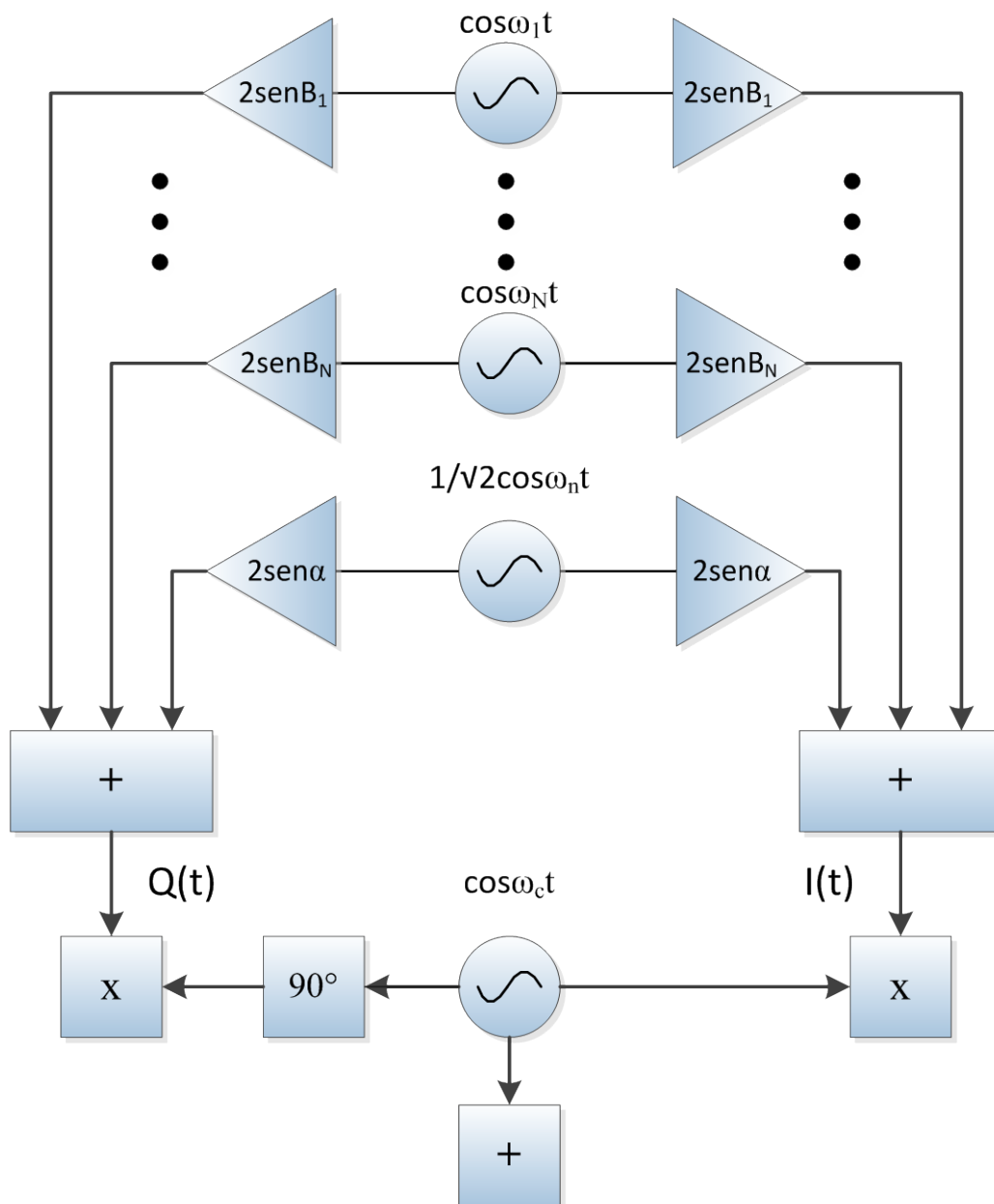


Figura 3.2 Simulador “Jakes” de canal faixa estreita

A Figura 3.3 exemplifica a técnica recomendada pela ITU, onde α_i e τ_i representam, respectivamente, a amplitude complexa e o retardo da i -ésima componente de multipercursos, sendo $h(t, \tau)$ a função de transferência do canal que se deseja simular.

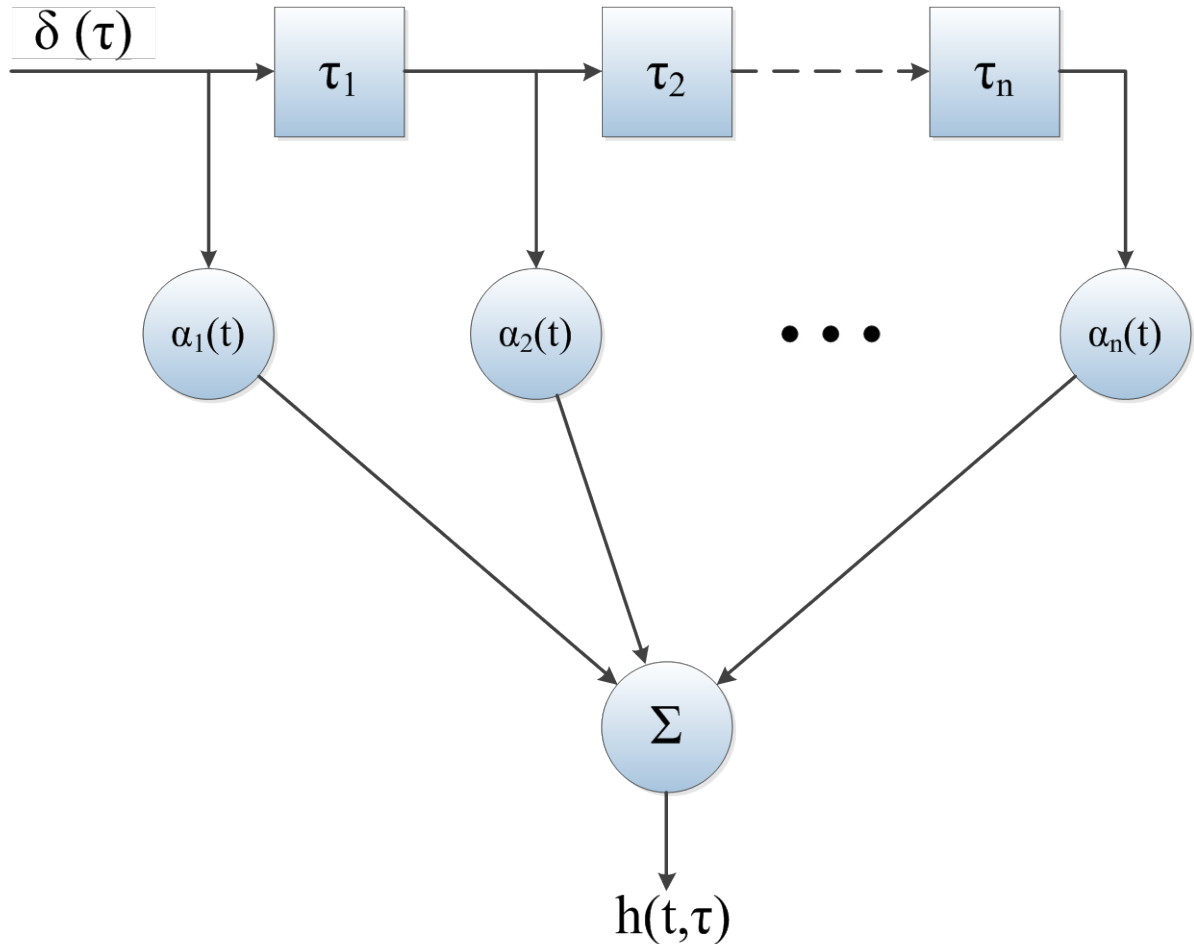


Figura 3.3 Filtro transversal que simula a resposta do canal

Os coeficientes α_i são, portanto, processos aleatórios gaussianos complexos de médias nulas e mutuamente decorrelacionados resultando, deste modo, em um sinal de desvanecimento do tipo Rayleigh. Devido à simplicidade e eficiência deste modelo, o mesmo é largamente utilizado em simulações [16] [17].

3.4 Modelos Físicos

Os modelos de simulação GWSS-US, embora sejam muito utilizados, possuem limitações, principalmente para aplicação em sistemas de banda-larga, já que os valores de retardo são considerados invariantes no tempo, portanto, fixos, como visto no item 3.2.

Assim, foram desenvolvidos modelos mais complexos para simulação banda larga, denominados por alguns autores de “modelos físicos” [14]. São, portanto, modelos faixa-larga, onde o intervalo de símbolo do sinal transmitido é da ordem do espalhamento de retardo do canal, ou ainda, a resolução temporal associada é de valor bem pequeno, o que quer dizer que multipercursos são resolvidos quase que continuamente, muito próximos entre si. Assim, a simulação empregando tais modelos busca reproduzir os efeitos combinados do desvanecimento rápido e lento.

As técnicas de simulação baseadas em modelos físicos descrevem estatisticamente os parâmetros (amplitude, fase e retardo) associados a cada multipercurso gerado pelo canal. Dentre elas, destacamos a técnica de Geração Sucessiva de Respostas Instantâneas e a de Geração e Desaparecimento de Raios, ambas no domínio temporal, e a técnica baseada no modelo auto-regressivo (AR), esta no domínio de frequência.

3.4.1 Modelo Auto-Regressivo

Partindo de medições de sinal rádio no domínio tempo-frequência, com um analisador vetorial de rede, são obtidas as funções de transferência do canal ao longo do tempo, $T(f,t)$. Assim, o modelo auto-regressivo (AR) permite simular a resposta em frequência do canal, $T(f)$, a partir de uma pequena quantidade de parâmetros, obtidas na sondagem em frequência do canal. No modelo AR, de ordem p , a resposta em frequência, $T(f)$, é um sinal amostra de um processo AR igual a:

$$T(f_n) - \sum_{i=1}^k a_i T(f_{n-i}) = V(f_n), \quad (3.1)$$

onde $T(f_n)$ é o valor da medida na frequência f_n , da resposta em frequência do canal, e $V(f_n)$ é um ruído branco que representa o erro entre o valor medido de $T(f_n)$ e o valor estimado, baseado nas últimas k medidas. Os parâmetros do modelo AR são as constantes complexas a_i .

Aplicando-se a transformada Z , na variável f da equação (3.1), obtém-se a função de transferência $G(Z)$, pela relação entre $T(f)$ e $V(f)$, que é um filtro linear de p pólos com resposta infinita ao impulso.

$$G(Z) = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^k a_i Z^{-i}} \quad (3.2)$$

$$G(Z) = \frac{1}{1 - \prod_{i=1}^k (1 - p_i Z^{-1})} \quad (3.3)$$

Utilizando este modelo, a resposta em frequência do canal, representada por N amostras, é descrita pelos p parâmetros do modelo AR ou pela localização dos p pólos de $G(Z)$ e sendo, tipicamente, $N \gg p$ [18].

Os parâmetros a_i do modelo AR são as soluções das equações de Yule-Walker [19]:

$$R_T(-l) - \sum_{i=1}^p a_i R_T(i-l) = 0, \quad 1 < l < p \quad (3.4)$$

e $V(f_n)$, ruído branco de média zero, com a variância dada por:

$$\sigma_V^2 = R_T(0) - \sum_{i=1}^p a_i R_T(i) \quad (3.5)$$

Assim, o modelo AR é capaz de obter a função resposta em frequência estimada do canal, $T_{\text{est}}(f)$, quando o filtro $G(Z)$ é excitado por um ruído branco gaussiano complexo, conforme ilustrado no diagrama de blocos da Figura 3.4.

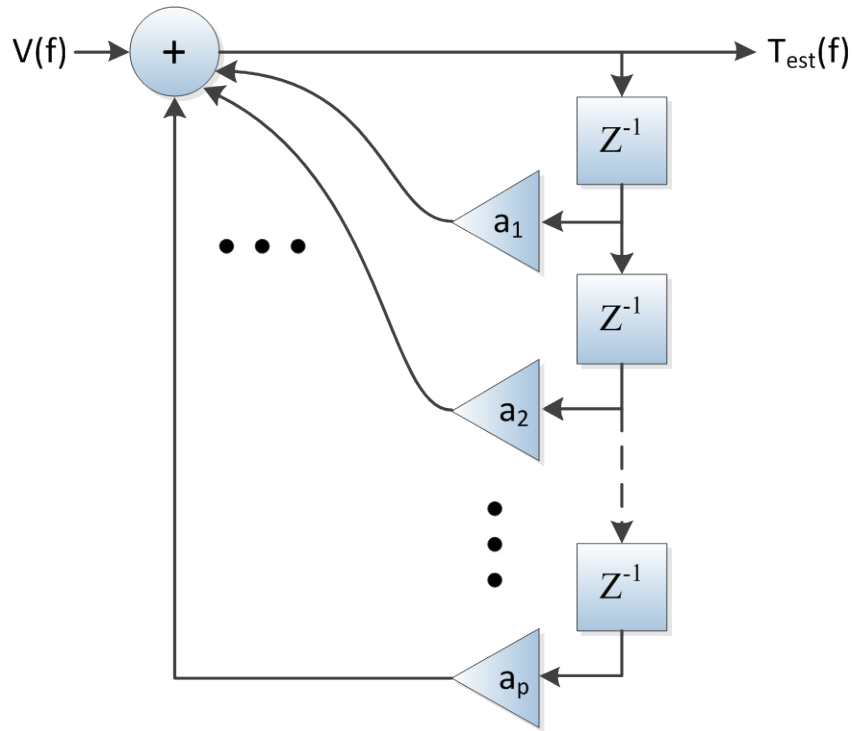


Figura 3.4 Diagrama de blocos do modelo auto-regressivo

Na modelagem no domínio do tempo, o canal é caracterizado pelo perfil de retardos, conforme ilustrado na Figura 2.7. Para encontrar o número apropriado de pólos, é necessário obter a correlação na frequência $R_T(k)$ a partir do perfil de retardos. Sendo a função de correlação na frequência, a transformada de Fourier do perfil de retardos, conforme Figura 2.6, então:

$$R_T(k) = \sum_{i=1}^L |P_n(\tau_i, t)|^2 e^{-2\pi/Nk\tau_i} \quad (3.6)$$

ou ainda:

$$R_T(k) = \sum_{i=1}^L |h(\tau_i, t)|^2 e^{-2\pi/Nk\tau_i} \quad (3.7)$$

sendo N o número total de pontos usados na medição, no domínio da frequência. Os parâmetros $R_T(k)$ obtidos podem ser utilizados na equação 3.4 para determinar os parâmetros do modelo AR e, através da equação 3.3, são identificados onde estão localizados os pólos.

A modelagem do canal radiomóvel, com modelos auto-regressivos de segunda ordem, foi aplicada para faixa ultralarga por Silva [4] e [20], aos mesmos dados de medições *indoor*, empregados no presente trabalho.

3.4.2 Geração Sucessiva de Respostas Instantâneas

Inicialmente, foi realizada por Turin [21], uma grande campanha de medições envolvendo a transmissão simultânea, de um ponto fixo, de pulsos de 100 ns em 488, 1280 e 2920 MHz e sua recepção era realizada por uma van móvel. O meio de propagação foi modelado como um filtro linear, descrito por:

$$h(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \delta(t - t_k) e^{i\theta_k} \quad (3.8)$$

Este é um modelo banda-larga que, por sua generalidade, pode ser usado para obter a resposta do canal para qualquer sinal $s(t)$ através da convolução de $s(t)$ com $h(t)$. De acordo com este modelo, o meio de propagação pode ser caracterizado por um conjunto de amplitudes (a_k), tempos de retardo (t_k) e fases (θ_k), mais um ruído aditivo $\eta(t)$. O modelo matemático é apresentado na Figura 3.5.

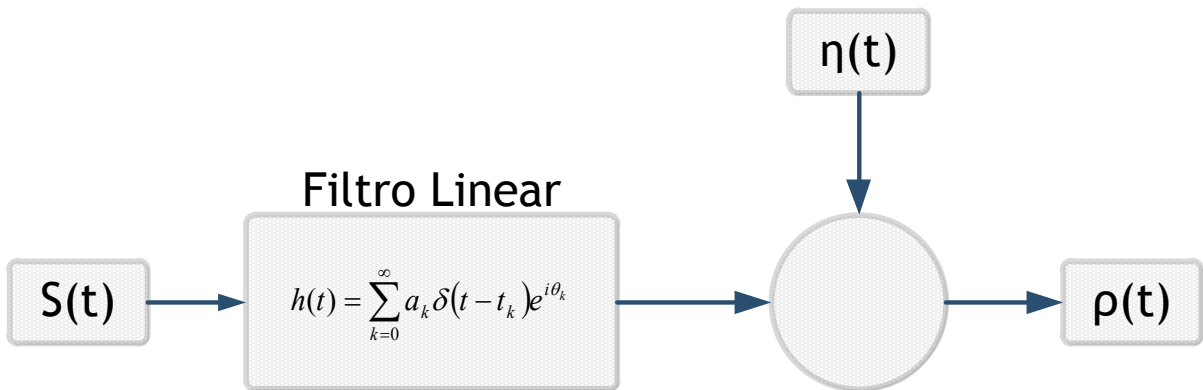


Figura 3.5 Modelo Matemático para Simulação de Respostas Instantâneas

Posteriormente, os dados experimentais de Turin [21] foram analisados por Suzuki [22]. Após aplicar as distribuições lognormal, Rice, Rayleigh e Nakagami, Suzuki verificou

que as distribuições que melhor se ajustavam aos dados experimentais das amplitudes dos multipercursos eram a Nakagami e lognormal. Para os retardos, foi proposto um modelo de Poisson modificado, denominado modelo Δ -K.

No modelo Δ -K, observa-se na Figura 3.6, que a probabilidade de chegar um raio no bin 1 é λ_1 e a probabilidade de não chegar um raio é $(1 - \lambda_1)$. Se um raio existe no $(j-1)$ -ésimo bin, então a probabilidade de haver um raio no j -ésimo bin é $K\lambda_j$. Como exemplo, a probabilidade de ter multipercursos no bin 1, 2 e 4 e não ter no bin 3 é $\lambda_1 \cdot K\lambda_2 \cdot (1 - K\lambda_3) \cdot \lambda_4$, onde para $K > 1$ tem-se maior probabilidade dos raios chegarem em grupos (*clusters*).

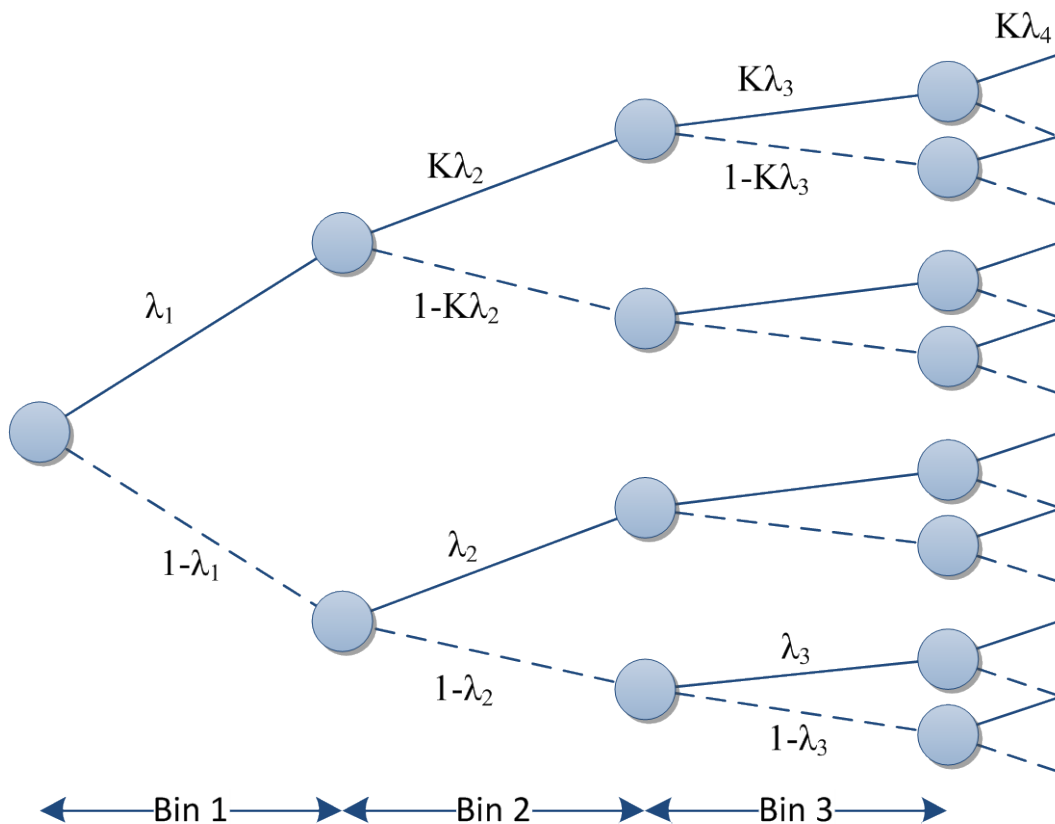


Figura 3.6 Modelo Δ - K Empregado no Processo Modificado de Poisson

Definindo-se o “bin” como o intervalo no qual apenas um multipercurso pode ser detetado pela técnica de sondagem empregada, no processo de obtenção do perfil de potência retardo, ou seja, é a resolução mínima da sonda, foi gerado, no *software* Matlab, um programa para calcular a probabilidade de multipercursos, em relação ao número N de bins, e os resultados são dados em forma gráfica (representação semelhante foi utilizada no trabalho de Suzuki[22]). Assim, os gráficos obtidos para $K = 0,5$ e $K = 2$ são mostrados, respectivamente, nas Figuras 3.7 e 3.8. É possível verificar que para valores maiores de K , há uma distribuição

mais homogênea de probabilidade entre o número de multipercursos possíveis. Para ajustar o modelo Δ -K, é necessário que as probabilidades λ_j sejam determinadas empiricamente.

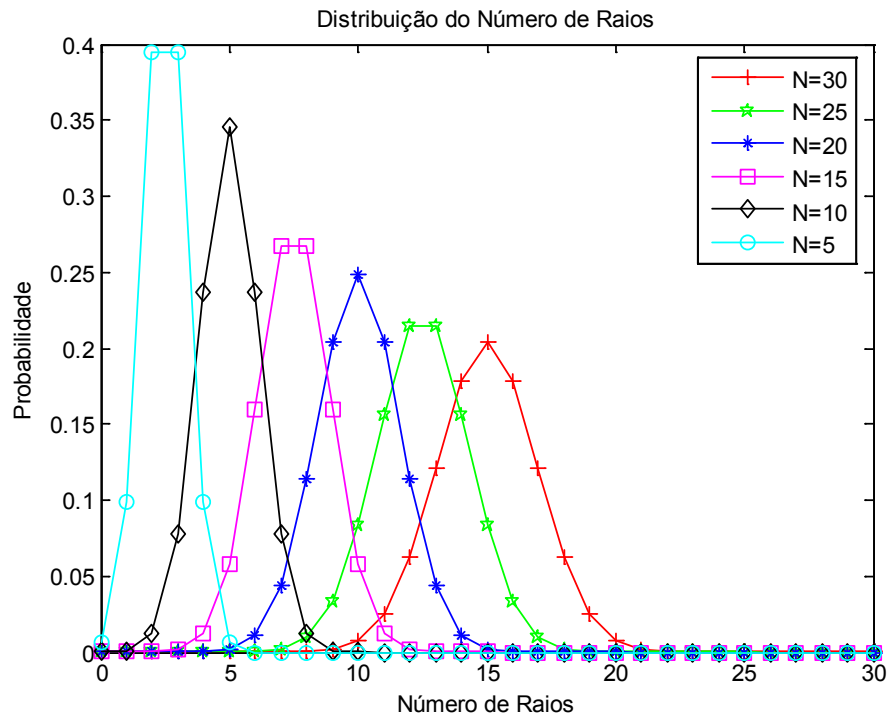


Figura 3.7 Distribuição do número de raios em relação ao número N de bins ($K = 0.5$)

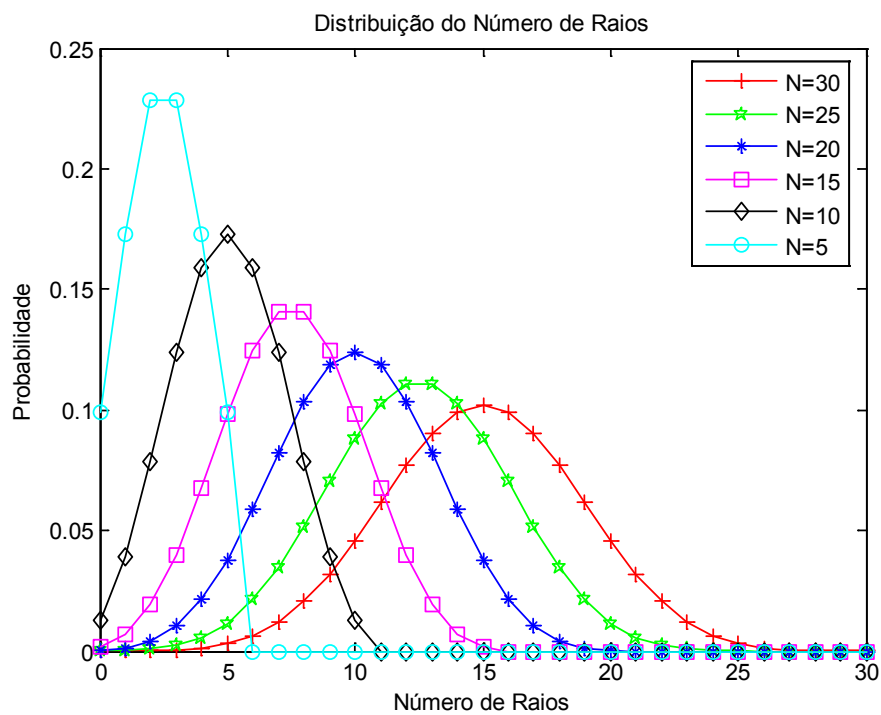


Figura 3.8 Distribuição do número de raios em relação ao número N de bins ($K = 2$)

O modelo apresentado por Turin e Suzuki foi refinado por Hashemi [23]. Para a simulação dos retardos, Hashemi substituiu o fator K de Suzuki por novos parâmetros K'_i que são funções do “número de bins” i . A modificação permite que a simulação funcione para qualquer número de bins. Também foi levada em conta a correlação espacial entre os retardos. Isto é feito aumentando (ou diminuindo) a probabilidade de um raio chegar no i -ésimo bin de um determinado perfil, dado que há (ou não) um raio no i -ésimo bin do perfil anterior. Com isso, a probabilidade de ocorrer um multipercurso no bin i é alterada através dos parâmetros $\alpha(d)$ e $\beta(d)$ que são funções da distância entre as amostras.

Para a geração das amplitudes dos multipercursos, Suzuki concluiu que as distribuições lognormal e de Nakagami eram as que melhor se ajustavam, mas devido às dificuldades para gerar amostras com a distribuição de Nakagami, Hashemi optou por gerar todas as amplitudes seguindo uma distribuição lognormal. Assim, a amplitude do j -ésimo raio de um perfil é gerada através de uma distribuição normal condicional e a correlação temporal é feita através de uma função da diferença dos tempos de chegada dos multipercursos. Já para a simulação das fases, a proposta inicial foi uma distribuição uniforme no intervalo $[0, 2\pi)$. Quando a distância entre amostras é muito pequena é necessário impor uma correlação espacial e é gerado um incremento de fase ϕ_i com distribuição normal.

3.4.3 Técnica de Geração e Desaparecimento de Raios

Baseado nas premissas dos modelos físicos, que é caracterizar estatisticamente os parâmetros do canal, e visando analisar o canal CDMA, Iwai e Karasawa [6] desenvolveram um novo modelo de propagação banda larga através do emprego da Técnica de Geração e Desaparecimento de Raios. Neste ponto, é relevante reforçar o objetivo principal deste trabalho, que é utilizar esta técnica, inicialmente desenvolvida para o canal CDMA, de faixa igual a 1,23 MHz, e atestá-la para aplicação em banda ultralarga, de 750 MHz.

A técnica parte da premissa de que o processo de geração e desaparecimento de cada raio tem grande influência na variação do sinal recebido. De modo simplificado, pode-se ilustrar o surgimento e desaparecimento de raios na Figura 3.9, onde se verifica que o raio 1 surge no instante L_g1 e desaparece no instante $L_g1 + L_11$ e, de maneira análoga, o raio 2 surge

no instante $L_g1 + L_g2$ e desaparece no instante $L_g1 + L_g2 + L_{l2}$. Os parâmetros L_g e L_l representam, respectivamente, a separação entre dois raios e o tempo médio de vida de um raio.

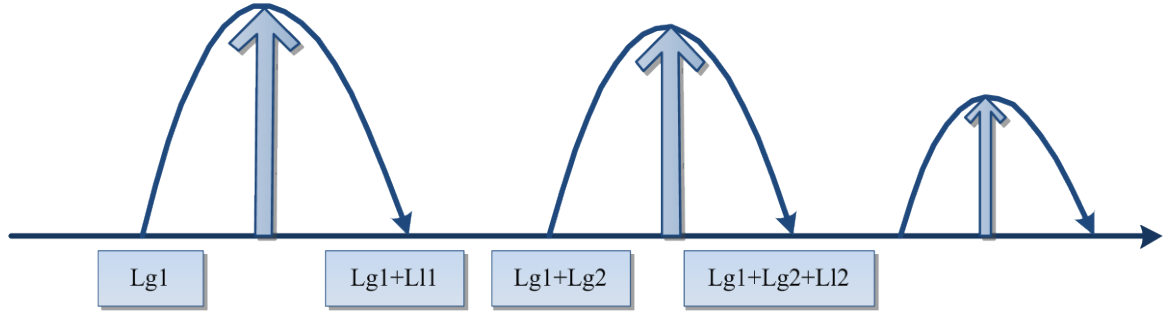


Figura 3.9 Surgimento e desaparecimento de raios ao longo do tempo

A escolha da variação senoidal para o intervalo de tempo entre o nascimento e morte de um multipercurso é para evitar mudanças abruptas na variação da amplitude dos multipercursos simulados, conforme será visto na equação (3.24).

O número de multipercursos, n , é determinado por um processo de Poisson, representado na equação (3.9), onde N é o número médio de multipercursos e $p_n(n;N)$ é a função densidade de probabilidade (fdp) do número de raios que chegam em um determinado instante [6]:

$$p_n(n; N) = \frac{N^n}{n!} \exp(-N) \quad (3.9)$$

A separação entre dois multipercursos, L_g , é considerada como tendo uma função densidade de probabilidade exponencial, $p_g(L_g)$, dada na equação (3.10), cuja média é $\Delta L/N$, onde ΔL é o tempo médio de vida de um multipercurso [6]:

$$p_g(L_g) = \frac{N}{\Delta L} \exp\left(-\frac{NL_g}{\Delta L}\right) \quad (3.10)$$

O tempo médio de vida de um raio, L_l , é representado, também, por uma função densidade de probabilidade exponencial, com média ΔL , ou seja [6]:

$$p_l(L_l) = \frac{N}{\Delta L} \exp \left(-\frac{L_l}{\Delta L} \right) \quad (3.11)$$

Para a modelagem do canal, o perfil de potência de retardo é suposto uma função exponencial, com um espalhamento de retardo igual a τ_0 . Assim, o retardo τ_i , associado a cada raio, fica calculado da fdp [6]:

$$p(\tau) = \frac{P_R}{\tau_0} \exp \left(-\frac{\tau}{\tau_0} \right) \quad (3.12)$$

onde P_R é a potência média recebida, calculada da seguinte equação, proposta por Rappaport [24]:

$$P_R[dBm] = P_{cal}[dBm] + 10 \log \left(\frac{A_{NR}}{A_{Ncal}} \right) \quad (3.13)$$

onde P_{cal} é a potência recebida durante a calibração do sistema de medição (transmissor e receptor *back-to-back*), A_{NR} é a área sob cada perfil de potência de retardo recebido durante a amostragem do canal, e A_{Ncal} é a área sob a curva do perfil de potência de retardo medido durante a calibração.

Adotando-se as fdp's exponenciais das equações (3.10) a (3.12), as mesmas são geradas através do método computacional, denominado Método da Transformação [25], onde é preciso inverter a expressão:

$$u = F_x(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3.14)$$

obtendo-se:

$$X = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - U) \quad (3.15)$$

onde U é uniformemente distribuído no intervalo $[0,1]$ e λ é a média da distribuição. Nas respectivas equações citadas, X passa a ser as variáveis L , L_l e τ desejadas.

Como U e $1-U$ são distribuídos uniformemente, algumas equações podem ser simplificadas e obtém-se, para as equações (3.10) a (3.12):

$$p_g(L_g) = -\frac{\Delta L}{N} \ln(U) \quad (3.16)$$

$$p_l(L_l) = -\Delta L \ln(U) \quad (3.17)$$

$$p(\tau) = -P_R \tau_0 \ln(U) \quad (3.18)$$

Para a simulação do canal faixa-larga, neste trabalho, parâmetros do canal sondado [3] são usados como entrada. Dentre eles, estão o espalhamento de retardo (τ_0), o número médio de raios (N), o tempo médio de vida de um raio (ΔL), o retardo médio (τ_d), e a potência média recebida P_R . De posse de cada retardo simulado, τ_i , e da potência média de cada raio, $P_i(\tau_i)$, obtida da equação:

$$P_i(\tau) = \alpha \frac{P_R}{N} \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_p}\right) \quad (3.19)$$

onde α é um parâmetro independente de τ , a ser determinado pela relação:

$$\alpha = \frac{\tau_p + \tau_d}{\tau_p} \quad (3.20)$$

e τ_p é o retardo quando a potência recebida se iguala a $1/e$, aproximadamente 37%, ou ainda:

$$\frac{1}{\tau_0} = \frac{1}{\tau_d} + \frac{1}{\tau_p} \quad (3.21)$$

A resposta ao impulso do i -ésimo raio, $g_i(\tau, x)$, é obtida de:

$$g_i(\tau, x) = a_i(x) \delta(\tau - \tau_i(x)) \quad (3.22)$$

onde:

$$a_i(x) = r_i(x) \exp(j\theta_i) \quad (3.23)$$

e:

$$r_i(x) = \begin{cases} \sqrt{2P_i} \sin\left(\frac{\pi}{\Delta x_i}(x - x_{i,min})\right) & \forall x_{i,min} \leq x \leq x_{i,max} \\ 0 & \forall x < x_{i,min} \text{ ou } x > x_{i,max} \end{cases} \quad (3.24)$$

e ainda: $x_{i,min}$ e $x_{i,max}$ são os pontos de geração ($L_g1 + \dots + L_gi$) e desaparecimento $[(L_g1 + \dots + L_gi) + L_{i1}]$ do i -ésimo raio; θ_i é a fase inicial do i -ésimo raio, distribuída uniformemente no intervalo $[0, 2\pi)$; r_i é a amplitude do i -ésimo raio e varia como uma senóide no intervalo: $x_{i,min} \leq x \leq x_{i,max}$, como mostrado na Figura 3.9, e τ_i é calculado da eq. (3.18).

Finalmente, o perfil de potência de retardo pode ser modelado como a resposta ao somatório de impulsos, $g(\tau, x)$, ou seja:

$$g(\tau, x) = \sum_i^{\infty} g_i(\tau, x), \quad (3.25)$$

onde o limite infinito é, no caso discreto, substituído pelo número de raios (n) gerados para o perfil simulado.

Resumidamente, para aplicação da técnica de Geração e Desaparecimento de Raios (GDR), deve-se acompanhar o fluxo de simulação ilustrado na Figura 3.10.



Figura 3.10 Fluxo de Simulação para Uso na Técnica GDR

4 DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA SIMULAÇÃO APLICANDO A TÉCNICA GDR

4.1 Introdução

A técnica de Geração e Desaparecimento de Raios (GDR) será empregada na simulação de canal faixa-larga *indoor* e *indoor-outdoor*. Para isso, parâmetros como espalhamento de retardo, número médio de multipercursos (ou raios), tempo médio de vida de um raio, retardo médio e potência média recebida, serão utilizados como entrada para o processo de simulação. Neste trabalho, tais dados de entrada são obtidos por processamento de dados oriundos de medições em ambientes *indoor* e *indoor-outdoor* na Escola de Engenharia da UFF.

Neste capítulo, serão apresentados o *setup* de medição e os ambientes utilizados para obter os parâmetros do canal, que servirão como dados de entrada para simulação do canal rádio móvel. Adicionalmente, será detalhado o programa para aplicação da técnica de GDR, desenvolvido em Matlab, de forma a facilitar o usuário na simulação de um canal rádio faixa larga, através de uma interface amigável.

4.2 Parâmetros de Entrada

O primeiro passo para a simulação do canal é, obviamente, a obtenção dos parâmetros de entrada. Os dados necessários estão listados na Tabela 4.1, com os valores utilizados por Karasawa [6] em seu artigo. Para a obtenção destes dados, nesta dissertação, foi utilizada a campanha de medidas de Souza [3], onde foi empregada a técnica de varredura de frequência para a sondagem do canal faixa larga. Serão apresentados o *setup* de medição, os ambientes aproveitados neste trabalho e, finalmente, a obtenção dos dados de entrada para a simulação do canal.

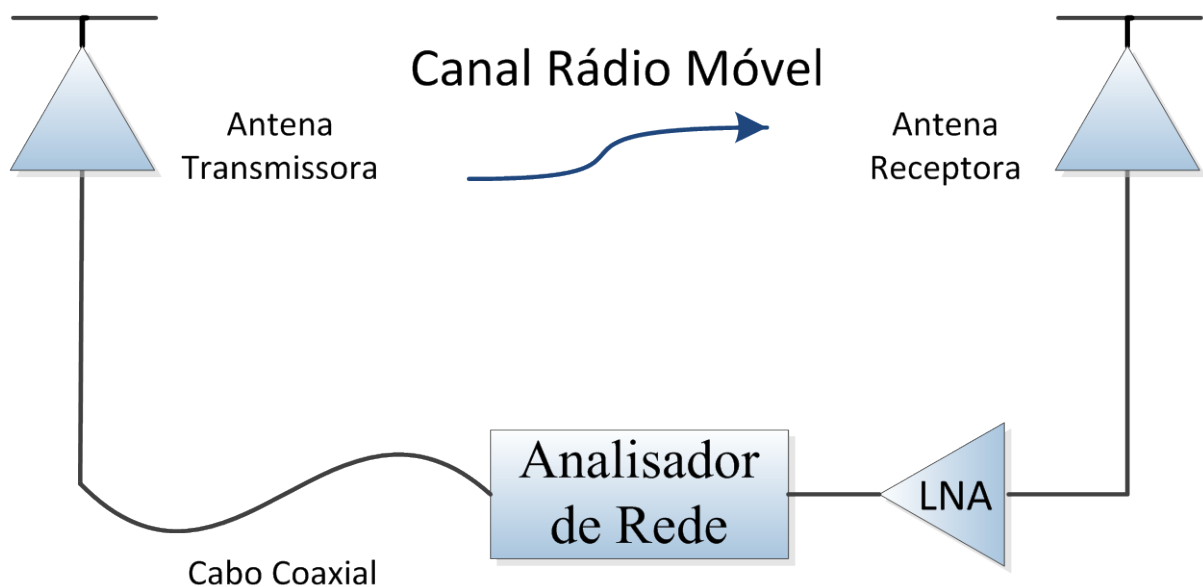
Tabela 4.1 Parâmetros de Entrada (Fonte: Karasawa)

Parâmetros	Símbolo	Faixa de valores (provável)
Espalhamento de retardo	τ_0	0,1 – 10 μ s
Número médio de raios	N	2 – 100
Média de vida de um raio	ΔL	10 – 30 m
Retardo médio	τ_d	$2\tau_0$

Conforme já mencionado em capítulos anteriores, o modelo de Iwai e Karasawa foi desenvolvido para utilização no sistema CDMA *outdoor*, assim deverá ser alterada a faixa de valores dos parâmetros de entrada, já que o ambiente, aqui usado, é *indoor*. Mais adiante tais dados serão fornecidos no item 4.2.3.

4.2.1 Setup de Medição

A campanha de medições [3] utilizou o *setup* ilustrado na Figura 4.1, composto pelos seguintes equipamentos: um analisador de rede vetorial, um amplificador de baixo ruído, duas antenas discônicas, um computador, cabos coaxiais e conectores.

**Figura 4.1** Sondagem do canal com o analisador de rede vetorial

Na medição do canal, foi utilizada a técnica de sondagem no domínio da frequência, com um analisador de rede vetorial como dispositivo transceptor para a aquisição das amplitudes e fases de pontos discretos, dentro de uma determinada banda de frequência. As

características dos equipamentos de medição e os parâmetros configurados para a sondagem estão listados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Características dos equipamentos e parâmetros configurados

Parâmetros	Valor	Unidade
Faixa de Frequência	960 a 1710	MHz
Largura de Banda	750	MHz
Espaçamento em Frequência entre Amostras - Δf	0,46875	MHz
Número de Amostras Varridas	1601	-
Resolução Temporal - $\Delta \tau$	1,33	ns
Retardo Máximo - τ_{MAX}	2133	ns
Tempo de varredura	696	ms
Potência de Transmissão	10	dBm
Ganho do LNA	25	dB
Ganho das Antenas	2,14	dBi

Através das medidas de módulo e fase em vários pontos do ambiente, é possível obter a função seletividade no tempo $T(f,t)$, vistas no capítulo 2 e descrita na forma de matriz na equação (4.1).

$$[T]_{f \times t} = [A]_{f \times t} \times \left[\cos \left([F]_{f \times t} \times \frac{\pi}{180} \right) + j \cdot \sin \left([F]_{f \times t} \times \frac{\pi}{180} \right) \right] \quad (4.1)$$

onde $[A]_{f \times t}$ e $[T]_{f \times t}$ representam as amplitudes e fases para cada ponto de frequência discreta, dentro da banda utilizada na sondagem.

A função espalhamento de retardo $h(t,\tau)$ e, conseqüentemente, os parâmetros de dispersão temporal do canal (retardo médio e espalhamento de retardo), são obtidos através da transformada inversa de Fourier na $T(f,t)$ medida.

4.2.2 Ambiente de Medição

As medidas foram realizadas por Souza [3] em diversos locais na Universidade Federal Fluminense (UFF). Neste trabalho, foram selecionados os ambientes *indoor*, preferencialmente com visada (LOS), para extração dos dados entrada. O cenário das medidas é o Prédio Novo da Escola de Engenharia e cada planta está ilustrada nas Figuras 4.2 a 4.7. Destes cenários, também foram utilizados na simulação de modelos AR [4] e [20], os

mostrados nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.7, mas estritamente para os pontos *indoor*. No programa desenvolvido com a técnica GDR é dada a opção de trabalhar apenas com os pontos LOS ou trabalhar com todos os pontos medidos e avaliar a técnica GDR de maneira ampla.

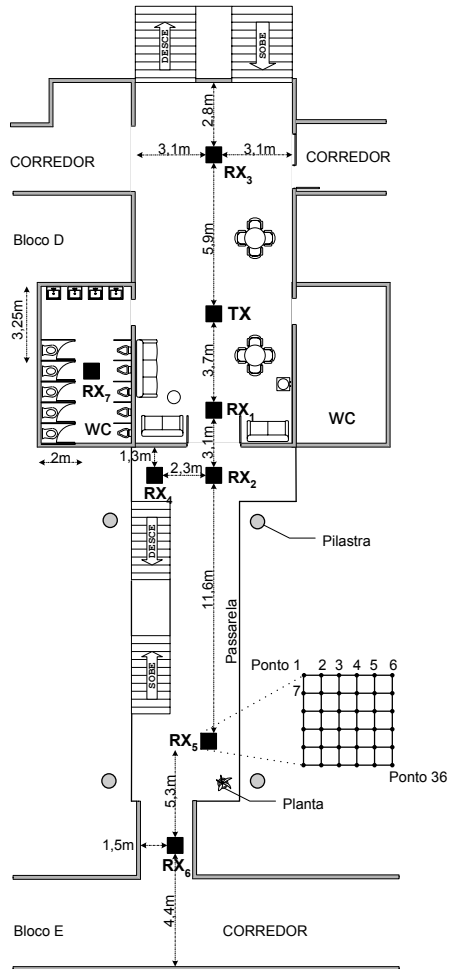


Figura 4.2 Cenário do Ambiente A1, *indoor-outdoor*

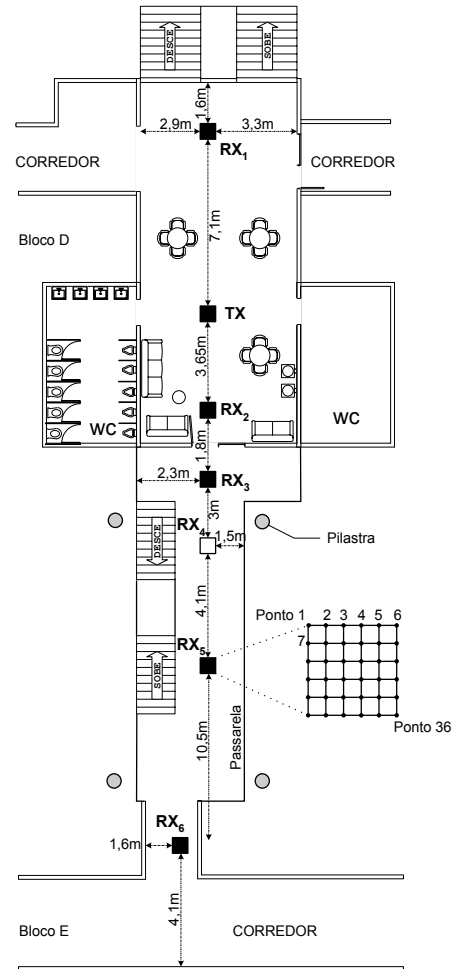


Figura 4.3 Cenário do Ambiente A3, *indoor-outdoor*

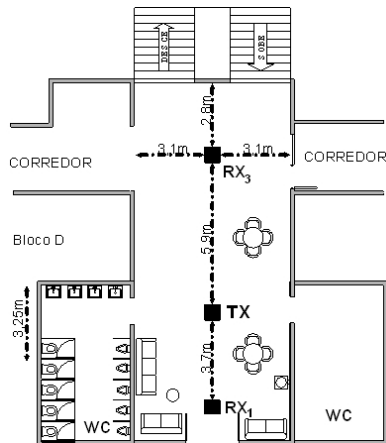


Figura 4.4 Ambiente A1, somente com pontos *indoor*

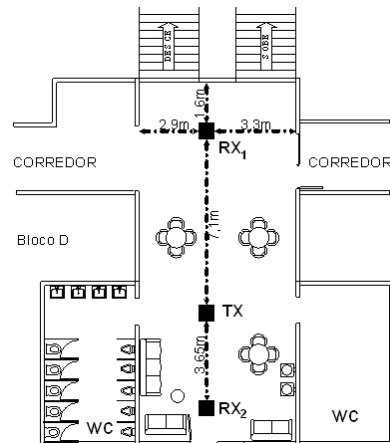


Figura 4.5 Ambiente A3, somente com pontos *indoor*

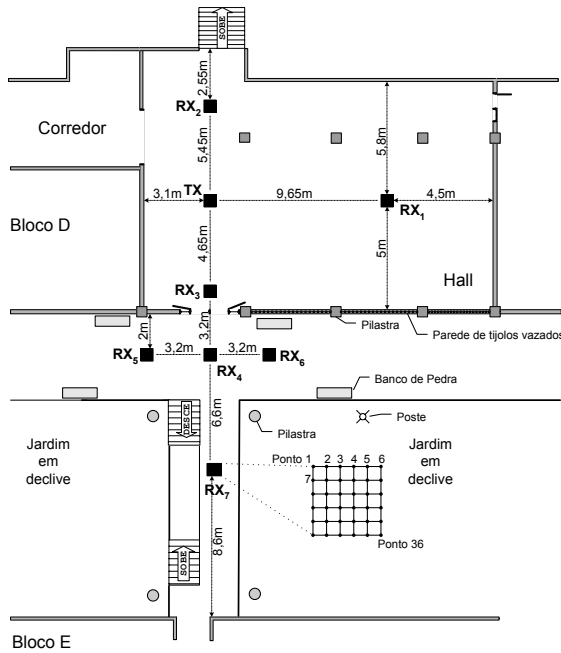


Figura 4.6 Cenário do Ambiente A5, *indoor-outdoor*

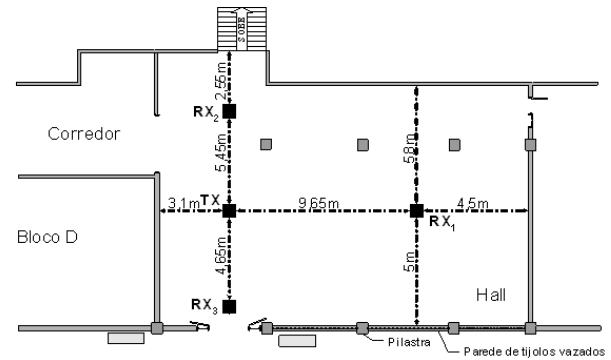


Figura 4.7 Ambiente A5, somente com pontos *indoor*

Os cenários A1 e A3 são, respectivamente, o 2º e 3º andar do bloco D do prédio de Engenharia. É importante observar que o ambiente A3 é muito semelhante ao ambiente A1, mas foram utilizadas posições diferentes para o transmissor e o receptor. O ambiente A5, nas Figuras 4.6 e 4.7, é o *hall* de entrada do mesmo prédio, mais amplo que os ambientes A1 e A3. Para cada ambiente, o transmissor (TX) foi colocado fixo, inicialmente, enquanto o receptor (RX) foi deslocado. Temos também os ambientes denominados A2, A4 e A6 que correspondem, respectivamente, ao 2º andar, 3º andar e *hall* da Escola de Engenharia, com a diferença de que, nestes ambientes, o RX foi mantido fixo e TX foi movimentado. As figuras 4.2, 4.3 e 4.6 correspondem aos ambientes de Souza [3], enquanto as Figuras 4.4, 4.5 e 4.7 correspondem aos pontos dos cenários A1, A3 e A5 utilizados nos cenários por Leal [4].

4.2.3 Extração dos dados de entrada

Para cada ponto de medição, detalhado nas figuras 4.2 a 4.7, foram gerados 36 arquivos, que correspondem aos 36 pontos do *grid* utilizado nas medições, como pode ser visto nas figuras 4.2, 4.3 e 4.6. Por sua vez, cada arquivo é uma matriz de 2 linhas e 1601 colunas, que formam a função seletividade no tempo $T(f,t)$. A primeira linha corresponde à

resposta de amplitude (uma relação entre a tensão recebida e transmitida) e a segunda linha é a resposta de fase. As 1601 colunas dos arquivos correspondem aos 1601 pontos discretos na varredura de frequência da banda de 750 MHz sondada.

A partir da obtenção dos pontos medidos, o primeiro passo na programação é carregar estes arquivos com o comando “load”, armazenando os valores de amplitude no vetor “Amp” e os valores de fase no vetor “Fase” e, a seguir, compondo os dados em números complexos para obter a função seletividade no tempo, na forma descrita anteriormente na equação (4.1).

//função seletividade no tempo

Amp(1,:)=10.^(Amp2(1,:)/20);

*T(1,:)=Amp(1,:).*cos(Fase2(1,:)*pi/180)+i*Amp(1,:).*sin(Fase2(1,:)*pi/180);*

Conforme exposto no Capítulo 2, podemos obter o perfil de retardos através da Transformada Inversa de Fourier da função $T(f,t)$. Antes, entretanto, são necessárias algumas considerações.

A aplicação da Transformada Discreta Inversa de Fourier (IDFFT) nos 1601 pontos, que compõem a função $T(f,t)$, gera a chamada “fuga espectral” no perfil de retardos, mascarando as informações e, eventualmente, afetando multipercursos que desejamos analisar. Para minimizar esta consequência da IDFFT, é necessário utilizar uma das janelas propostas por Harris [26], que analisou, de maneira ampla, a aplicação de diversos tipos de janelas com a Transformada Rápida de Fourier.

Considerando que um dos principais objetivos deste trabalho é a análise comparativa de resultados para avaliação da técnica GDR, foi adotada a Janela Blackman-Harris de 3 termos descrita na equação (4.2), a mesma utilizada por Souza[3].

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right) + a_2 \cos\left(\frac{2\pi}{N}2n\right) \quad (4.2)$$

sendo que $N = 1601$ e $n = 0,1,2,...,N-1$. Os coeficientes a_i são definidos como: $a_0=0,42323$, $a_1=0,49755$ e $a_2=0,07922$, valores adotados para a janela de 3 termos, propostos por Harris[26]. Esta janela foi, portanto, aplicada no programa de extração de dados do Matlab. Pode-se, para efeito de comparação, optar (através da variável *tipo_janela*) por três outros

tipos de janela, implementadas no programa: Blackman-Harris de 4 termos, Hanning e Retangular.

```
//janela Blackman-Harris de 3 termos
switch tipo_janela
    case 1
        a0=0.42323; a1=0.49755; a2=0.07922;
        for n=0:(Nptos-1)
            Vetor(n+1)=a0-a1*cos(2*pi*n/Nptos)+a2*cos(2*pi*2*n/Nptos);
        end;
    case 2; Vetor1=blackmanharris(Nptos); ...
    case 3; Vetor1=rectwin(Nptos); ...
    case 4; Vetor1=barthannwin(Nptos); ...
end
```

Após a multiplicação da janela pela função seletividade no tempo, é possível aplicar a Transformada Discreta Inversa de Fourier. Para aplicação em Matlab, utilizamos diretamente a função “*ifft(X)*” que retorna a transformada inversa discreta do vetor “*X*”. A função “*abs*”, por outro lado, retorna o módulo de cada termo.

```
//transformada inversa de Fourier
aux=ifft((T). *PBH,pontos);
PPR=abs(aux);
```

Com o perfil de retardos obtido acima, ainda não é possível discriminar os parâmetros de entrada, pois há ruído, intrínseco do equipamento e do canal, que pode ser confundido com multipercursos, portanto, é necessário um algoritmo que permita identificar os parâmetros do canal. Em primeiro lugar, identifica-se um limiar abaixo do maior pico do perfil de retardos, abaixo do qual considera-se apenas ruído. Neste caso, o limiar foi considerado 50 dB abaixo do maior pico.

```
//limiar abaixo do maior pico do perfil de retardos
switch k_limiar; ...
limiardB=max(10*log10((abs(aux)).^2))-k_limiar;
```

O passo seguinte é a detecção dos picos no perfil. Para isto, um algoritmo compara cada ponto do perfil com os valores imediatamente anterior e imediatamente posterior e, caso

ambos sejam menores, considera este ponto como um possível multipercurso (armazenado no vetor “*maximos*”). O perfil de retardos, neste caso, é representado pelo vetor “*teste*”.

```
//identificação dos picos no perfil
for h=3:lin-3
    posterior=teste(h+1);
    anterior=teste(h-1);
    if ( teste(h) > anterior ) & (teste(h) > posterior )
        maximos(h)=teste(h);
    end
end
```

Neste ponto, é necessário utilizar uma técnica de limpeza de perfis. Diversas técnicas foram analisadas por Leni e Bianca[27], aplicadas aos mesmos dados deste trabalho: técnica CFAR [28], CLEAN [3] e técnica empregando as funções WDEN [29], do *software* Matlab. Uma técnica interessante, que utiliza um algoritmo denominado Máquina de Vetor de Relevância, foi discutido por Cal Braz[5] e possui como grande vantagem a não necessidade de estimar um nível de ruído, entretanto, pelos motivos já apresentados, será utilizado o mesmo algoritmo adotado por Souza [3], que é a técnica CLEAN.

A técnica CLEAN já se encontra bem detalhada em [3] e não faz parte do objetivo deste trabalho analisar as minúcias desta técnica, portanto, serão apresentadas apenas as linhas gerais do algoritmo para que o programa gerado neste trabalho seja plenamente compreendido. Inicialmente, nesta técnica, é necessário montar uma matriz com 5 linhas (neste caso), em que a linha central corresponde a um pico da resposta impulsiva e as outras 4 amostras correspondem aos dois valores imediatamente anteriores e posteriores.

```
//preparação da matriz
for k=1:tamanho
    teste2(n)=teste(m(k)-2); n=n+1;
    teste2(n)=teste(m(k)-1); n=n+1;
    teste2(n)=teste(m(k)); n=n+1;
    teste2(n)=teste(m(k)+1); n=n+1;
    teste2(n)=teste(m(k)+2); n=n+1;
end
```

O próximo passo nesta técnica é comparar os picos do perfil que se deseja “limpar” com um perfil de referência. Este perfil de referência deve ser obtido em um ambiente externo sem espalhadores significativos, para que a resposta impulsiva possa conter apenas os efeitos do aparelho transceptor, praticamente sem a contribuição de sinais refletidos. Cada pico do perfil “sujo” é comparado com o pico do perfil de referência e analisada a correlação e, caso a correlação seja maior que 80% (valor adotado neste caso), o pico é considerado como um multipercurso válido, caso contrário é considerado como ruído. Para obter a correlação, é adotada a função “*corrcoef*” do Matlab. Esta função retorna uma matriz com os coeficientes de correlação. Sendo “*M*”, no algoritmo abaixo, a matriz com os valores de pico.

```
//Matriz dos coeficientes de correlação
```

```
[n,p]=size(M);
```

```
X=M-ones(n,1)*mean(M);
```

```
Matrizcovariancia=X'*X/(n-1);
```

```
[r,p]=corrcoef(Matrizcovariancia);
```

```
matrizcorrelacao=r(1,:);
```

Após a utilização da técnica CLEAN e identificação dos multipercursos válidos, é possível identificar os parâmetros de entrada. O primeiro adquirido é o número de multipercursos utilizando a função “*length*” do Matlab que retorna o número de elementos de um vetor. Na linha de programação abaixo, o “-1” se justifica pela exclusão do raio direto.

```
//conta o número de multipercursos
```

```
num=length(retardos)-1;
```

O retardo médio e o espalhamento de retardos foram calculados utilizando as equações 2.46 e 2.47, detalhadas no Capítulo 2, quando foram apresentados os parâmetros de dispersão temporal. No trecho de programa a seguir, a variável “*taumedio*” corresponde ao retardo médio, a variável “*desvio*” corresponde ao espalhamento de retardo e “*ta*” é o número de multipercursos.

```
//cálculo do retardo médio
```

```
for q=1:ta
```

```
    soma1=soma1 + tau(q).*(amp(q).^2);
```

```
    soma2= soma2 + (amp(q)).^2;
```

```
end
```

```
taumedio1=soma1./soma2;
```

```

//cálculo do espalhamento de retardo
for w=1:ta
    soma3 = soma3 + ((tau(w)-taumedio1).^2).*(amp(w).^2);
end
desvio1=sqrt(soma3./soma2);

```

Por último, cada parâmetro calculado para cada perfil é armazenado em uma matriz específica: “*numero*” (número de multipercursos), “*taumedio*” (retardo médio) e “*desvio*” (espalhamento de retardos). Nestas matrizes, cada linha corresponde a um dos pontos do ambiente medido e cada coluna corresponde a um dos 36 pontos do grid. Neste ponto, cabe um comentário importante: na obtenção dos parâmetros de entrada não é possível retirar diretamente a média dos parâmetros medidos. Isto se deve ao fato de que em cada *grid* do ambiente medido, observa-se ser estacionário no sentido amplo, mas o ambiente como um todo não é estacionário. Com isso, temos que calcular, separadamente, os parâmetros de cada ponto. Primeiro, calcula-se o perfil médio de um determinado *grid* (utilizando o método proposto por Cox[30]), identifica-se os multipercursos válidos e calcula-se o retardo médio e o espalhamento de retardos utilizando as equações 2.46 e 2.47. Assim, finalmente são obtidos os dados de entrada.

```

//Obtenção do perfil médio
kpl=length(CYoriginal);
for kkpl=1:kpl
    perfis_sujos(ki,kkpl)=CYoriginal(kkpl);
end
for i=1:ki
    soma_perfis=soma_perfis+perfis_sujos(i,:);
end
media_perfis=soma_perfis./ki;
//após a media dos perfis, o cálculo dos parâmetros é feita com algoritmos análogos
aos demonstrados anteriormente

```

A Tabela 4.3 contém os resultados separados de acordo com o ambiente de medidas e analisando, separadamente, os pontos exclusivamente *indoor* e os *indoor-outdoor* dos ambientes A1 e A2 (2º andar da Escola de Engenharia).

Tabela 4.3 Parâmetros medidos

Ambientes				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Pontos	A1	Indoor	1	11	17	22
			3	14	21	23
		Indoor-outdoor	2	13	28	19
			4	15	31	24
			5	12	64	30
			6	13	83	11
			7	10	24	24
	A2	Indoor	1	10	18	18
			2	13	25	24
		Indoor-outdoor	3	11	26	25
			4	19	31	27
			5	16	68	13
			6	17	86	14
			7	21	26	34

Comparando com os valores propostos por Iwai e Karasawa na Tabela 4.1, verificamos que há uma variação significativa no espalhamento de retardo e no retardo médio, que são da ordem de ns para o canal *indoor*, enquanto na Tabela 4.1 é da ordem de μ s. Isso se deve ao fato da técnica GDR ter sido proposta para sistema CDMA *outdoor* e, agora, estamos trabalhando com sistemas *indoor* de faixa muito mais larga e é um dos objetivos deste trabalho verificar se a técnica funcionará adequadamente para canal *indoor* e de transição, em faixa muito mais larga (750 MHz). Isto será visto no Capítulo 5, onde serão analisados os resultados das simulações. O parâmetro média de vida de um raio foi utilizado na simulação como 10 m, considerando que este é o menor valor da faixa proposta por Karasawa e também analisando as dimensões dos ambientes de medidas.

4.3 Programa da Técnica GDR

Neste item, inicialmente, apresentamos a interface do programa de aplicação da técnica GDR e, em seguida, será descrito o núcleo do programa, que é a implementação do modelo em Matlab.

4.3.1 Interface

O programa da técnica GDR é relativamente intuitivo e simples de ser utilizado, entretanto, algumas páginas são dedicadas para explicar, detalhadamente, a interface do programa, pois um dos principais objetivos desta dissertação é que o programa gerado possa ser, posteriormente, não só utilizado, mas melhorado por qualquer um que tenha interesse. Com o entendimento da interface, é possível que outros pesquisadores adicionem funcionalidades ao programa, que podem ser significativas, como uma nova técnica de simulação ou mudanças pontuais como a utilização de uma nova técnica de limpeza de perfis ou ainda, simplesmente, uma nova janela antes da aplicação da IDFT às funções $T(f,t)$.

Para a criação do programa, foram utilizadas as GUIs do Matlab (Graphical User Interface – interface gráfica do usuário). O ambiente de desenvolvimento das GUIs é acessado através do comando “*guide*”. Este ambiente contém botões, listas, chaves, caixas de texto, etc... , e a finalidade é que, inicialmente, o usuário possa se concentrar apenas em utilizar o programa em vez de cuidar da mecânica envolvida.

A tela inicial do programa, ilustrada na Figura 4.8, é acionada com o comando “*rodrigo_leni*”. Esta tela, assim como todas as outras geradas, possui dois arquivos: o primeiro, com extensão “.m”, possui as linhas de programação e as funções que devem ser executadas; o outro arquivo possui a extensão “.fig” e contém a diagramação da tela (ilustrada) com o posicionamento dos textos, botões e menus dinâmicos.

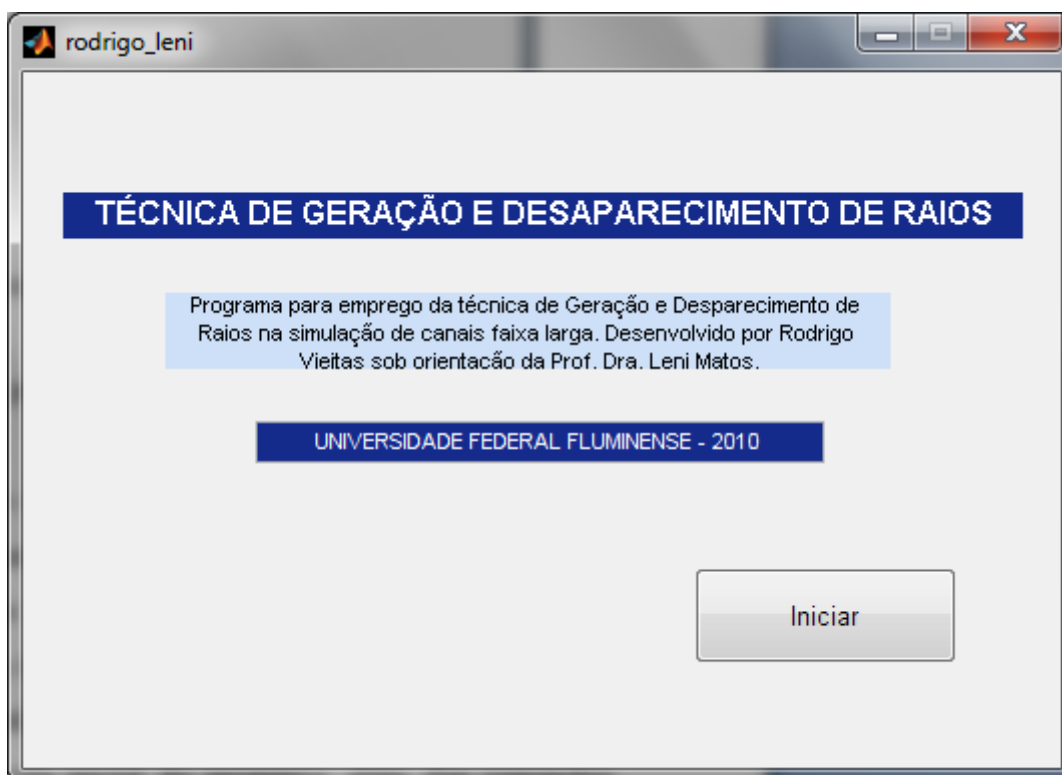


Figura 4.8 Tela inicial do programa da técnica GDR

Os arquivos gerados através das GUIs do Matlab possuem diversas funções básicas para permitir a inicialização do programa, dentre as quais destaco: a função “*varargin*” que representa os argumentos de entrada; a função “*varargout*” que representa os argumentos de saída e “*handles*” que contém chamadas para todos os ambientes da figura (M-Figure). As principais funções da interface gráfica do Matlab são analisadas em detalhes por Chapman[31]. Voltando ao arquivo correspondente à tela inicial do programa, além dos comandos essenciais para inicialização da GUI, o arquivo .m contém a função do botão “Iniciar”. Ao pressionar o botão, é executada a função “*pushbutton1*” e, automaticamente, o comando “*tela2*”. Em seguida, é fechada a janela “*rodrigo_leni*” com o comando “*close*”.

//função executada quando pressionado o botão “Iniciar”

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

close;

tela2;

A tela seguinte do programa (acionada como “*tela2*”) permite selecionar as opções para a obtenção dos dados de entrada, conforme ilustrado na Figura 4.9. Selecionando a primeira opção, serão processados os dados das medições realizadas por Souza [3], enquanto

a segunda opção permite que diversos parâmetros de entrada sejam manualmente selecionados dentro uma faixa de valores especificada. No algoritmo desta tela são implementados dois marcadores mutuamente exclusivos (denominados “*radiobutton1*” e “*radiobutton2*”). Inicialmente, é selecionado o primeiro botão com a função “*set*”. Se o segundo botão é acionado, é atribuído o valor “0” ao primeiro botão e vice-versa. Finalmente, quando pressionado o botão “Continuar”, é verificado o marcador selecionado (através da variável “*k_tela*”) e abre-se a tela desejada.

```
//Inicialmente é marcado o primeiro botão
set(handles.radiobutton1,'Value',1);

// Função que será executada quando pressionado o botão (radiobutton2)
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.radiobutton1,'Value',0);
set(handles.radiobutton2,'Value',1);

// Função que será executada quando pressionado o botão (pushbutton1).
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
k_tela2=get(handles.radiobutton1,'Value');
switch k_tela2
    case 1; tela3;
    case 0; tela4;
```

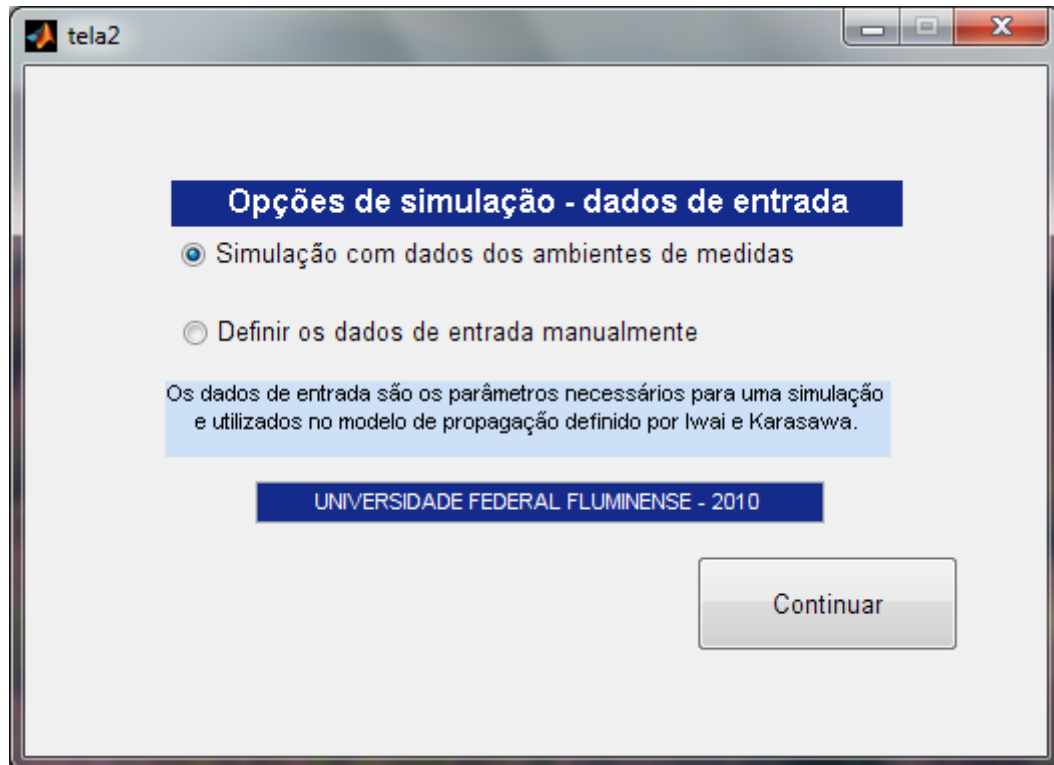



Figura 4.9 Tela com as opções de simulação da técnica GDR

Através da próxima tela (“tela3”) é possível escolher o ambiente de medidas e os tipos de gráficos que serão gerados utilizando as GUIs do Matlab, Figura 4.10. O ambiente é selecionado através de um menu dinâmico (“*popupmenu1*”), que apresenta uma lista de opções especificada por uma matriz de cadeia de caracteres. A variável denominada “*k_desc*” armazena o ambiente selecionado (“*Value*”). Na sequência, é utilizado o comando “switch” para verificar o ambiente escolhido e a descrição é apresentada na caixa de texto (“*text5*”).

//seleção do ambiente de medidas

function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)

k_desc = get(handles.popupmenu1, 'Value');

switch k_desc

case 1

*str = sprintf('Ambiente 1 a: 2° Andar do Prédio de Engenharia da UFF
(bloco D), pontos indoor.');*

set(handles.text5, 'String', str);

case 2

*str = sprintf('Ambiente 2 a: 3° Andar do Prédio de Engenharia da UFF
(bloco D), pontos indoor.');*

```
set(handles.text5,'String',str);
....//continua de maneira similar para os outros ambientes
```

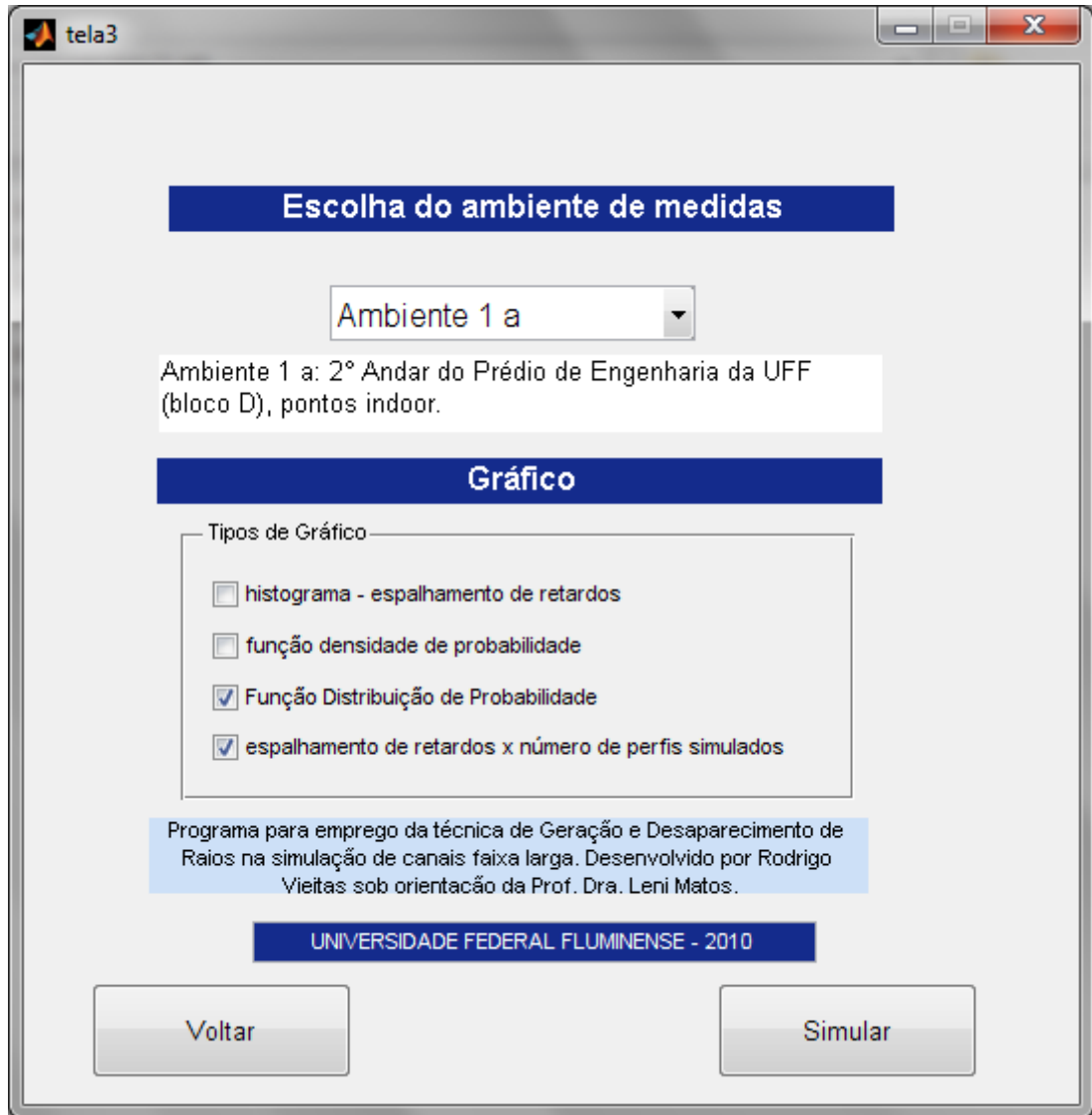


Figura 4.10 Tela de escolha dos ambientes para simulação

Continuando com a descrição da “tela3”, a seleção do tipo de gráfico que será gerado é feita através de caixas de verificação (“checkbox1” a “checkbox4”), que não são mutuamente exclusivas. Após a seleção do ambiente e dos gráficos desejados, pode-se pressionar o botão “Simular” (“pushbutton1”) e será verificado o valor da variável “k_tela3” e de cada “checkbox” e, finalmente, será iniciado o núcleo do programa de simulação (denominado “rodrigo_iwai”).

```
//tela3 - escolha dos gráficos e início da simulação
```

```
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    k_tela3=get(handles.popupmenu1,'Value');
    ambiente=k_tela3;
    k_box1=get(handles.checkbox1,'Value')
    k_box2=get(handles.checkbox2,'Value')
    k_box3=get(handles.checkbox3,'Value')
    k_box4=get(handles.checkbox4,'Value')
    close
    tela3_iwai_8

```

Outra opção é selecionar os parâmetros de entrada manualmente e isto é feito através da “tela4”, ilustrada na Figura 4.11. A seleção dos parâmetros é feita através de régua (função “*slider*”), que permitem a seleção de valores de um intervalo contínuo especificado (entre os valores “min” e “max”), utilizando um cursor móvel e o *mouse*. Os valores de cada régua (“*slider3*” a “*slider8*”) são mostrados em cada caixa de texto correspondente (“*text7*” a “*text13*”). A seleção dos gráficos e a execução do programa são similares às demonstradas na “tela3”.

```

//seleção manual dos dados de entrada
function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)
    numero_perfis=get(hObject,'Value');
    str = sprintf('Número de Perfis: %d',numero_perfis);
    set(handles.text7,'String',str);
function slider3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
        set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
    end
....//continua de maneira similar para os outros parâmetros

```

Parâmetros

Parametros

Retardo Médio (ns):

Nº Médio de Raios:

Espalhamento de Retardos:

Retardo Máx. (ns):

Média de Vida (m):

Número de Perfis:

Gráfico

Tipos de Gráfico

☐ histograma - espalhamento de retardos

☐ função densidade de probabilidade

☐ Função Distribuição de Probabilidade

☐ espalhamento de retardos x número de perfis simulados

Programa para emprego da técnica de Geração e Desaparecimento de Raios na simulação de canais faixa larga. Desenvolvido por Rodrigo Veitas sob orientação da Prof. Dra. Leni Matos.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - 2010

Voltar Simular

Figura 4.11 Tela de seleção manual dos parâmetros de entrada

4.3.2 Núcleo do programa

Inicialmente, para tornar mais rápido o programa de simulação da técnica GDR, foi executado o algoritmo, detalhado no item 4.2.3, para todos os ambientes de medidas e todos os resultados foram armazenados no arquivo “dados_medidos.m”. Este arquivo contém 48 matrizes, com 16 matrizes para cada um dos 3 ambientes (A, B e C), sendo 8 matrizes para os

pontos em que o receptor foi deslocado e 8 para os pontos em que o receptor foi mantido fixo e o transmissor, deslocado. Para cada ambiente, temos os seguintes parâmetros com as respectivas matrizes e dimensões entre parênteses: retardo médio (*taumedio* 7x36), espalhamento de retardos (desvio 7x36), número de multipercursos (*numero* 7x36), potência média recebida (*Potencia* 7x36), média do retardo médio (*media_taumedio* 1x7), média do espalhamento de retardos (*media_desvio* 1x7), média do número de multipercursos (*media_numero* 1x7) e média da potência recebida (*media_Potencia* 1x7).

Após carregar o arquivo “dados_medidos.m”, o próximo passo do programa é analisar a variável “ambiente”, que irá determinar os dados de qual ambiente será analisado e se serão analisados todos os pontos ou somente os pontos *indoor*. Outra possibilidade do programa, é que os parâmetros sejam configurados manualmente (*case 0*). Abaixo é ilustrado, como exemplo, o trecho do algoritmo com o *case 1* (neste caso foi selecionado o ambiente A e somente pontos *indoor*), com isso o algoritmo desconsidera os pontos 2, 4, 5, 6 e 7. Além disso, são agrupadas as matrizes A1 e A2 de cada parâmetro (Tx fixo e Rx fixo, respectivamente).

Inicia-se, posteriormente, a simulação de cada perfil de retardos. Entra-se em um algoritmo de repetição com a função “while” que termina quando se atinge o número máximo de perfis predeterminado (o número de perfis *default* é 500 que, como será visto no Capítulo 5, é suficiente para convergência dos principais parâmetros).

```
//início da geração dos perfis de retardos
```

```
inc=1;
```

```
num_perfis=0;
```

```
k9=0;
```

```
while num_perfis<perfis_max
```

```
k9=k9+1;
```

```
num_perfis=num_perfis+inc;
```

Acompanhando o fluxo de programação ilustrado na Figura 3.9, o próximo passo é estipular o número de multipercursos. De acordo com a equação (3.9), o número de multipercursos é determinado por um processo de Poisson e, no programa de simulação, foi utilizada a função “*poissrnd*” que gera um número aleatório *n* (neste caso o número de multipercursos) de uma distribuição de Poisson com média *N* (número médio de

multipercursos retirado das medições). Os números de multipercursos de todos os perfis gerados são guardados no vetor “nv”.

```
//calculando o número de multipercursos
n = poissrnd(N,1,1);
nv(kk) = n;
```

O próximo passo é calcular a separação espacial entre cada raio (L_g). Conforme visto no Capítulo 3 (equação 3.10), esta variável tem uma função densidade de probabilidade exponencial, que pode ser gerada no Matlab utilizando-se o método computacional denominado Método da Transformação (equação 3.16) proposto por Leon-Garcia[25]. Com isso, é gerado o algoritmo a seguir, onde a função “ $rand(n,1)$ ” retorna um vetor de valores escalares pseudo-aleatórios de uma distribuição uniforme no intervalo $[0,1]$.

```
//calculando a separação espacial entre dois raios consecutivos
MU_lg=delta_L/N;
lg = -MU_lg.*log(rand(n,1));
```

De maneira similar, é calculado o período de sobrevivência de cada raio (L_d), que também possui uma fdp exponencial (equação 3.11). Através do Método da Transformação, chega-se à equação (3.17), que é utilizada na simulação.

```
//calculando o período de sobrevivência de cada raio
MU_ld=delta_L;
ld = -MU_ld.*log(rand(n,1));
```

Continuando com a simulação do perfil de retardos, é necessário calcular a amplitude de cada multipercurso. Para isto, é necessário considerar a potência média recebida, com a fórmula estipulada por Rappaport [24] (equação 3.13), e o parâmetro α , (descrito pela equação 3.20 e 3.21). Com isso, podemos simular os valores de potência através da equação 3.13, utilizada no algoritmo seguinte:

```
//calculando a potência
alfa=(Tau_p+Tau_d)/Tau_p;
for ki=1:n
    Pi(ki)=((alfa*Pr)/N)*exp(-(pd(ki)/Tau_p));
end
for i=1:n
```

```

Piv(kk,i) = Pi(i);
End

```

Finalmente, é executado o algoritmo para o cálculo da resposta impulsiva do canal, variando da forma proposta por Karasawa [6] e descrita nas equações (3.22) a (3.24).

```

//resposta ao impulso
for ki=1:n
    x_max=round(x_min+ld(ki));
    for px=x_min:x_max
        ri(ki,px)=sqrt(2*Pi(ki))*sin((pi/ld(ki))*(px-(x_min-1)));
    end
    x_min=round(x_min+lg(ki));
end

```

Após a simulação dos perfis de retardos, são calculados os parâmetros simulados (para posterior comparação com os valores medidos), utilizando os algoritmos a seguir (similares aos utilizados para o cálculo dos parâmetros de entrada). O número médio de multipercursos (“*n_calc*”) é calculado, diretamente, através da média (função “*mean*”) do vetor “*nv*”, detalhado anteriormente nesta seção.

```

//número médio de multipercursos
n_calc = mean(nv)

```

Para o cálculo da média dos retardos simulados, é feito o somatório do retardo e potência de cada multipercurso (“*soma1*”), em seguida é feito o somatório das potências (“*soma2*”) e, então, é calculada a razão que corresponde ao retardo médio de um perfil (“*pd_calc1*”). Finalmente, é calculada a média do retardo de todos os perfis (“*pd_calc*”).

```

//retardo médio
k1=num_perfis
for k2=1:nv(k1)
    soma1(k1) = soma1(k1) + pdv(k1,k2).*Piv(k1,k2);
    soma2(k1) = soma2(k1) + (Piv(k1,k2));
end
pd_calc1(k1)=soma1(k1)./soma2(k1);
pd_calc(k9) = mean(pd_calc1);

```

No cálculo do espalhamento médio de retardos, alteramos o numerador (“*soma3*”) e consideramos o “desvio do retardo”, ou seja, é calculada a diferença entre o retardo de um determinado multipercurso e o retardo médio do seu perfil. Posteriormente, é calculada a média do espalhamento de retardos de todos os perfis (“*desvio_calc*”) de modo similar à realizada nos outros parâmetros.

```
//espalhamento de retardo
```

```
k3=num_perfis
```

```
for k4=1:nv(k1)
```

```
    soma3(k3) = soma3(k3) + ((pdv(k3,k4)-pd_calc1(k3)).^2).*(Piv(k3,k4));
```

```
end
```

```
desvio_calc1(k3)=sqrt(soma3(k3)./soma2(k3));
```

```
desvio_calc(k9) = mean(desvio_calc1);
```


5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Introdução

A técnica de Geração e Desaparecimento de Raios foi aplicada para ambientes *indoor* e *indoor-outdoor* e os resultados das simulações são apresentados neste capítulo. O passo inicial é o processamento das medições, dado que a correta avaliação da técnica depende, indubitavelmente, da precisão dos parâmetros de entrada obtidos. Em seguida, é realizada a simulação para cada local do ambiente de medições, sendo obtidos os parâmetros calculados que são comparados com os valores medidos. Por último, é avaliada a convergência da técnica e, para isso, são simulados centenas de perfis e analisados os resultados.

5.2 Simulação com a Técnica GDR

O processamento das medidas e as simulações foram realizadas, separadamente, para cada ambiente de simulação. Os ambientes utilizados estão detalhados no item 4.2.2.

5.2.1 Ambiente A1

Este trabalho utiliza, como já detalhado, a campanha de medidas de Souza [3], cujas características de sondagem estão listadas na Tabela 4.2. Cabe destacar, através das medições com o Analisador Vetorial, que foram obtidos os valores de amplitude e fase do sinal na faixa transmitida, sendo 1601 amostras com espaçamento de 0,46875 MHz (totalizando a banda avaliada de 750 MHz, com frequência central em 1335 MHz). Para cada local de medição, foi utilizado um *grid* de 36 pontos e, como exemplo, são apresentadas, nos gráficos 5.1 e 5.2, as medidas em frequência e fase, respectivamente, do primeiro ponto no primeiro *grid* do ambiente A1.

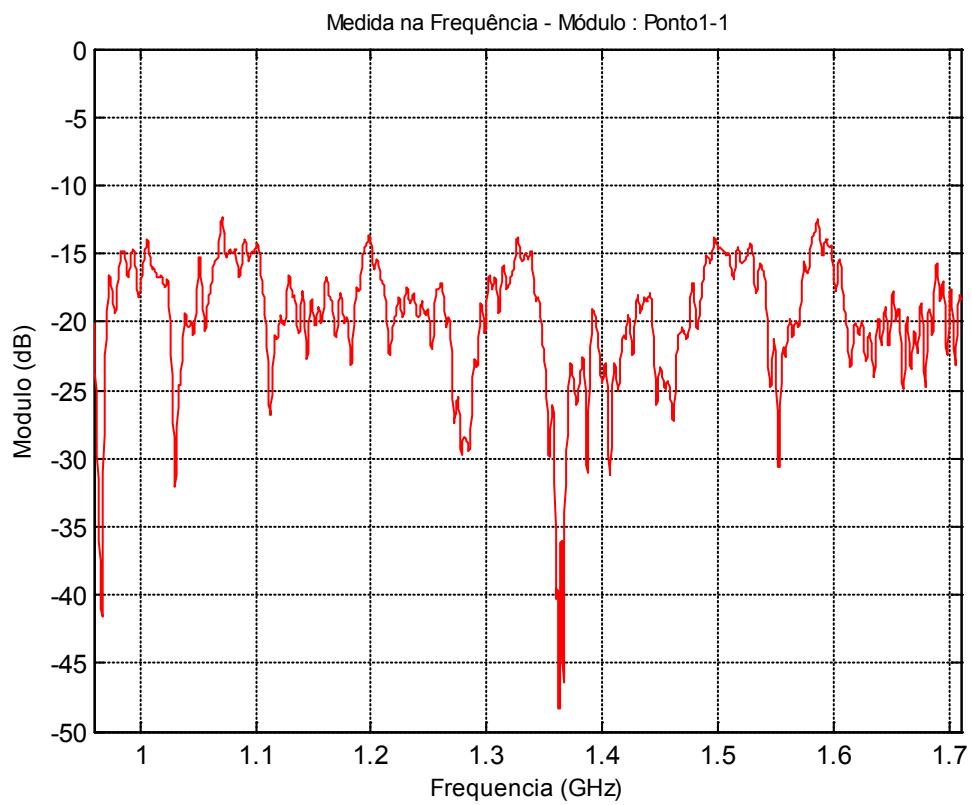


Figura 5.1 Medida de amplitude no ponto 1-1 do ambiente A1

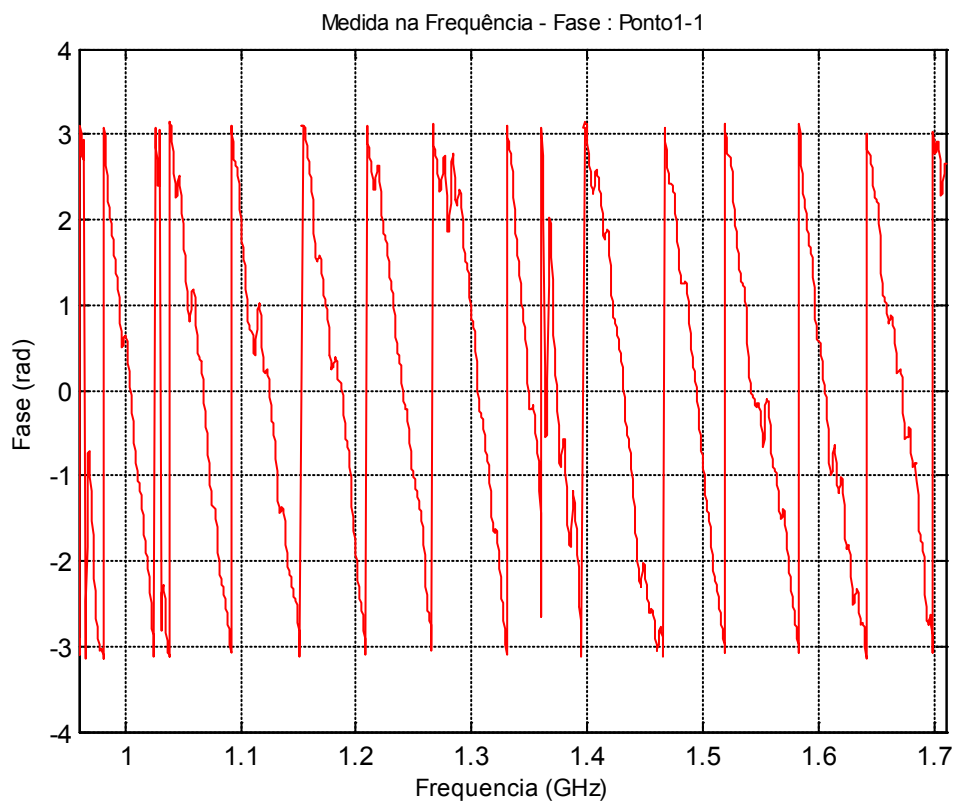


Figura 5.2 Medida de fase no ponto 1-1 do ambiente A1

O próximo passo é a seleção da janela que foi utilizada para filtrar o sinal, permitindo um melhor resultado na aplicação da Transforma Inversa de Fourier, pois, como já explicado, a Transforma de Fourier de um sinal finito gera espúrios no domínio da frequência, fenômeno apresentado como vazamento espectral de potência, ou *spectral leakage* [26]. De maneira similar, a aplicação da IFFT em uma função de transferência do canal ao longo do tempo $T(f,t)$, gera espúrios na resposta no domínio dos retardos (função espalhamento de retardos). A aplicação de uma janela, apesar de resolver parcialmente este problema, causa um aumento da resolução no domínio dos retardos [32]. Na escolha da janela a ser utilizada deve-se observar, portanto, o aumento da resolução e a atenuação dos lóbulos laterais que diminuem o vazamento espectral.

Neste trabalho, optou-se por utilizar a janela Blackman-Harris de 3 termos, que apresenta atenuação de 67 dB nos lóbulos secundários, em relação ao lóbulo principal, e aumento na resolução de 1,81 vezes. A janela Blackman-Harris de 3 termos com 1601 pontos (número de amostras da medição) é apresentada na Figura 5.3.

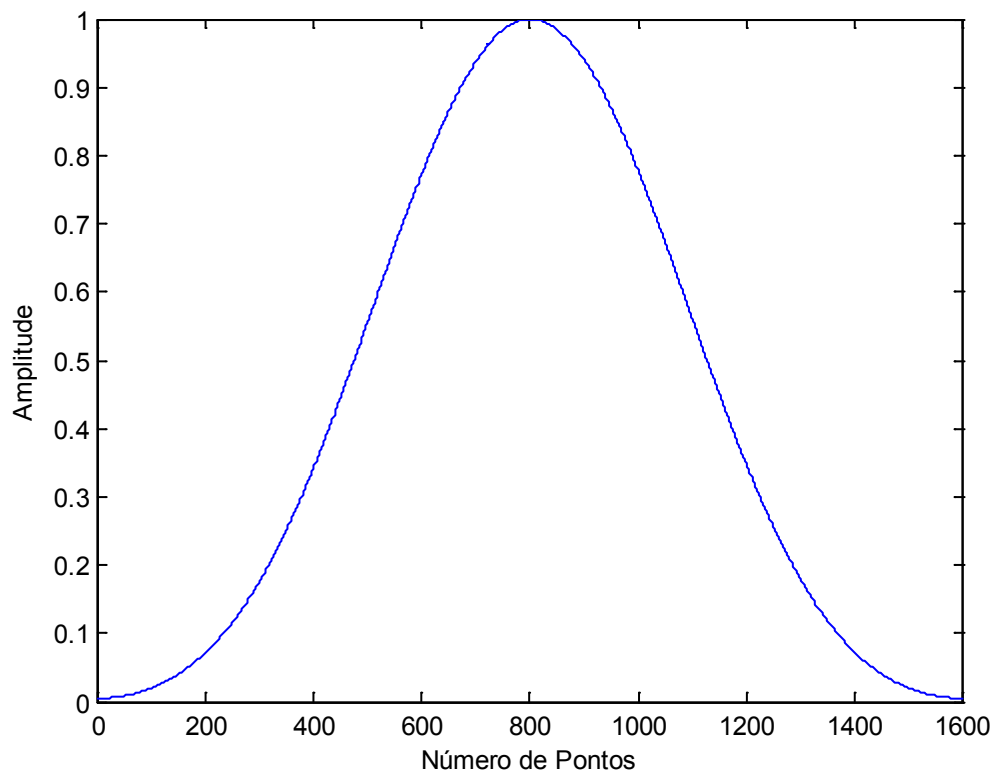


Figura 5.3 Janela Blackman-Harris de 3 termos com 1601 pontos

O programa desenvolvido permite optar por uma dentre quatro das janelas analisadas por Harris [26]: Blackman-Harris de 3 termos, Blackman-Harris de 4 termos, Retangular e Hanning. A Tabela 5.1 apresenta os valores de redução de lóbulos laterais e de aumento de resolução de cada uma das janelas e a Figura 5.4 apresenta, para comparação, o módulo do sinal no ponto 1-1 após a aplicação de cada uma das janelas.

Tabela 5.1 Características das Janelas do Programa

Janela	Redução de Lóbulo Lateral	Aumento de Resolução
Blackman-Harris de 3 termos	-67	1,81
Blackman-Harris de 4 termos	-92	2,72
Retangular	-13	1,21
Hanning	-32	2,00

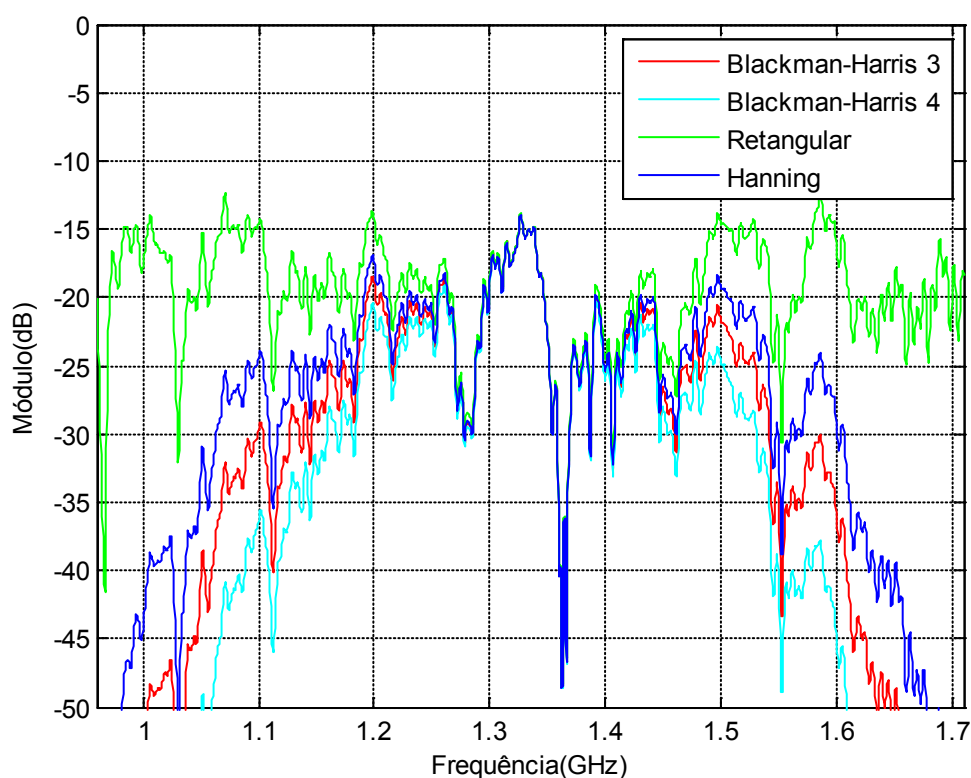


Figura 5.4 Módulo de $T(f,t)$ relativa ao ponto 1-1, após aplicação das janelas

Após a aplicação da janela, neste caso Blackman-Harris de 3 termos, e calculada a Transformada Inversa de Fourier, é obtida a densidade espectral de potência no domínio dos retardos, ou seja, o perfil de retardos. O perfil de retardos do ponto 1-1 do Ambiente A1 é

ilustrado na Figura 5.5, onde o módulo da amplitude de cada multipercurso foi normalizado em relação à amplitude do raio direto (ou principal).

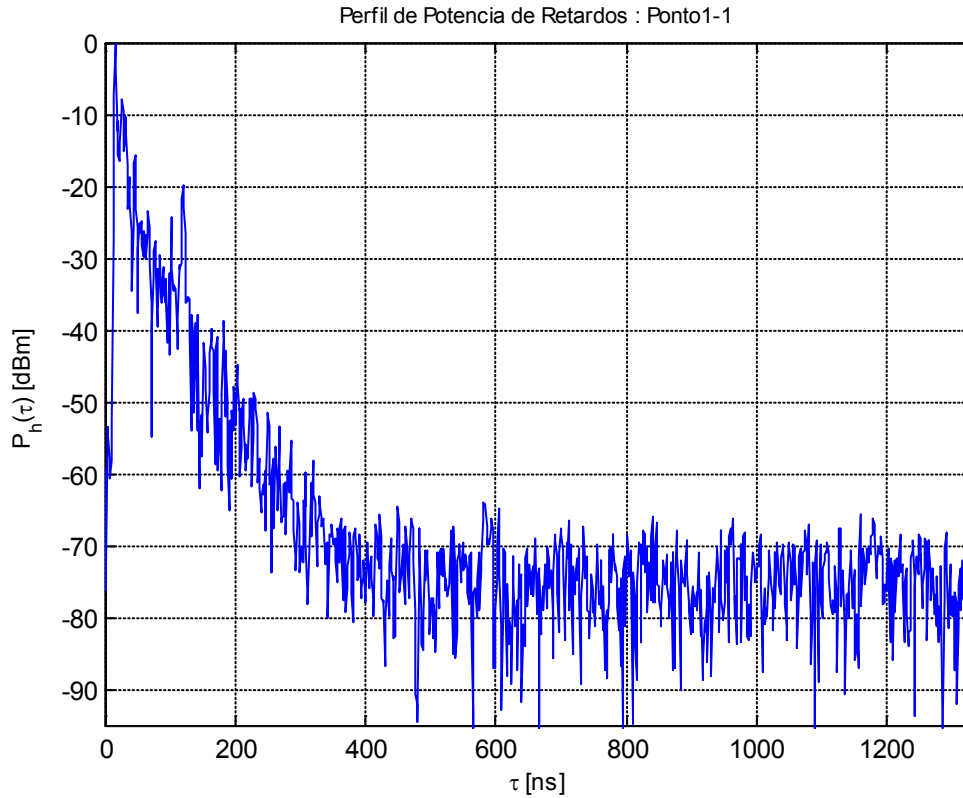


Figura 5.5 Perfil de Potência de Retardos

Neste ponto, é necessário identificar os multipercursos válidos e, para isto, deve-se separar do ruído os raios efetivamente recebidos, sendo o processo denominado “limpeza do perfil”. Primeiro, deve-se definir um limiar em dB abaixo da amplitude do raio principal, a partir do qual consideramos que qualquer raio com amplitude abaixo deste limiar é ruído. Este procedimento de definição do limiar depende da sensibilidade de quem está efetuando a análise do sinal. No programa criado são oferecidas sete opções de limiares (variando de -10 dB a -70 dB). Consideramos para o cálculo, inicialmente, o valor de limiar -50 dB. O próximo passo foi, então, identificar os picos acima do limiar. O resultado está ilustrado na Figura 5.6, onde está destacado o limiar e os multipercursos válidos. Depois da identificação dos raios é possível calcular os parâmetros de dispersão temporal, utilizando as fórmulas apresentadas no Capítulo 3. Para este caso, temos 34 multipercursos, espalhamento de retardo de 14 ns e retardo médio de 21 ns.

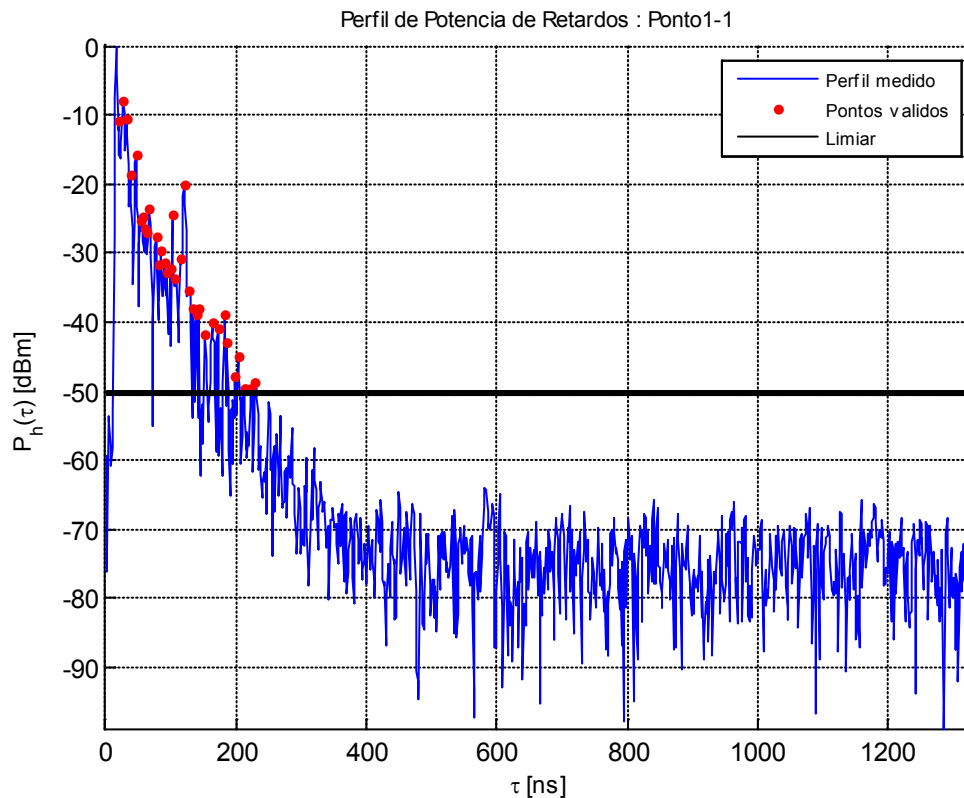


Figura 5.6 Perfil de Retardo “Limpo” do Ponto 1-1

Analisando, novamente, a Figura 5.5 e observando as linhas de grade, parece claro que um limiar de, por exemplo, -70 dB incluiria ruído dentro da faixa de detecção, prejudicando a obtenção de parâmetros. Por outro lado, a seleção de um patamar de -20 dB ou -30 dB excluiria, obviamente, multipercursos válidos. Escolhendo um limiar entre -40 dB e -60 dB (os parâmetros obtidos estão listados na Tabela 5.2) verifica-se que há uma grande semelhança entre os principais parâmetros obtidos, embora o número de multipercursos varie e seja maior, quanto menor for o limiar.

Tabela 5.2 Parâmetros obtidos em relação ao limiar

Medidas no Ponto 1-1	Nº de Multipercursos	Espalhamento de Retardos (ns)	Retardo Médio (ns)
Limiar de -40 dB	26	13	21
Limiar de -50 dB	34	14	21
Limiar de -60 dB	52	14	21

Neste momento, também se pode manter o limiar fixo e verificar como a alteração das janelas no domínio da frequência influencia a obtenção dos parâmetros de dispersão temporal no domínio dos retardos. A influência das janelas no perfil de retardos calculado está ilustrada

na Figura 5.7 e os resultados obtidos para o ponto 1-1, com o limiar fixo em -50 dB e variando as janelas, estão detalhados na Tabela 5.3.

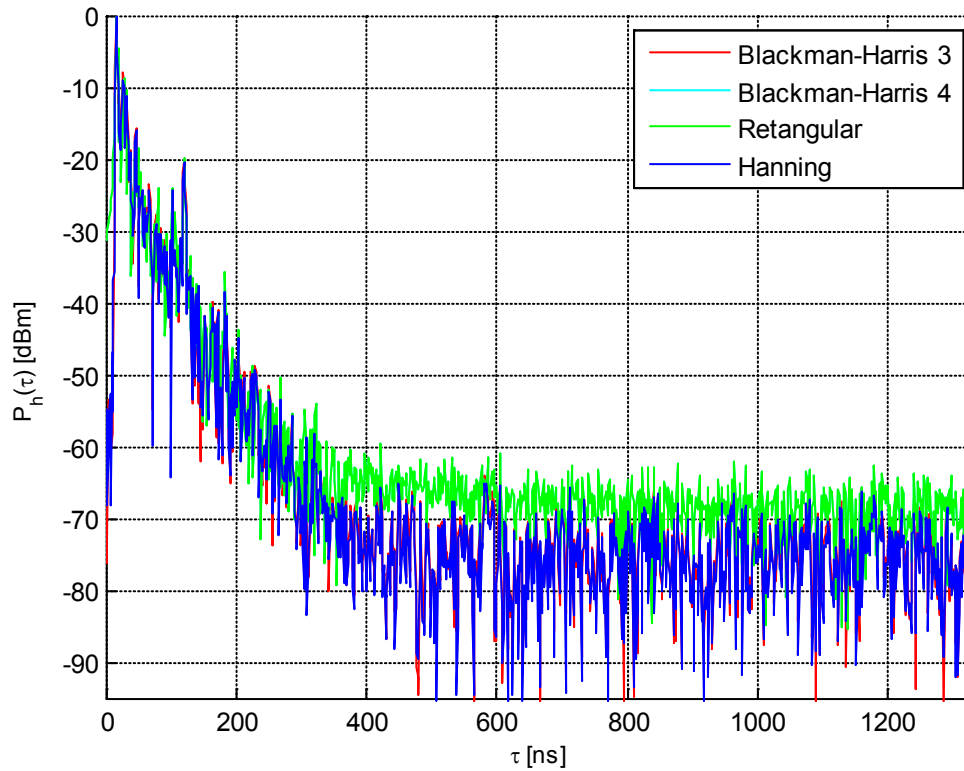


Figura 5.7 Perfil de Retardos com variação das Janelas

Tabela 5.3 Parâmetros obtidos em relação à Janela Aplicada

Janela	Nº de Multipercursos	Espalhamento de Retardos (ns)	Retardo Médio (ns)
Blackman-Harris de 3 termos	34	14	21
Blackman-Harris de 4 termos	32	14	22
Retangular	44	14	21
Hanning	38	14	21

Após determinar o tipo de janela a ser aplicada e o limiar de detecção, pode-se obter os parâmetros do local simplesmente identificando os picos acima do limiar ou pode-se utilizar uma técnica mais sofisticada para limpeza do perfil. O programa desenvolvido oferece como opção a técnica CLEAN, descrita no Capítulo 4. Nesta técnica, é importante determinar o número de amostras que serão utilizadas para comparação com o perfil de referência (pode-se escolher no programa entre 3, 5 ou 7 amostras), e deve-se estipular a correlação necessária

para considerar o multipercurso com sendo válido (pode-se escolher um valor entre 0,3 e 0,9). Nesta análise, optou-se por utilizar 5 amostras e uma correlação de 50%.

Todo o trabalho de processamento do sinal realizado até este ponto, permitiu analisar os parâmetros apenas do primeiro ponto do *grid*. Cada *grid* é composto de 36 pontos, cujos perfis do local 1 estão ilustrados na Figura 5.8. Iremos analisar, agora, a melhor forma de retirar os parâmetros do *grid* como um todo.

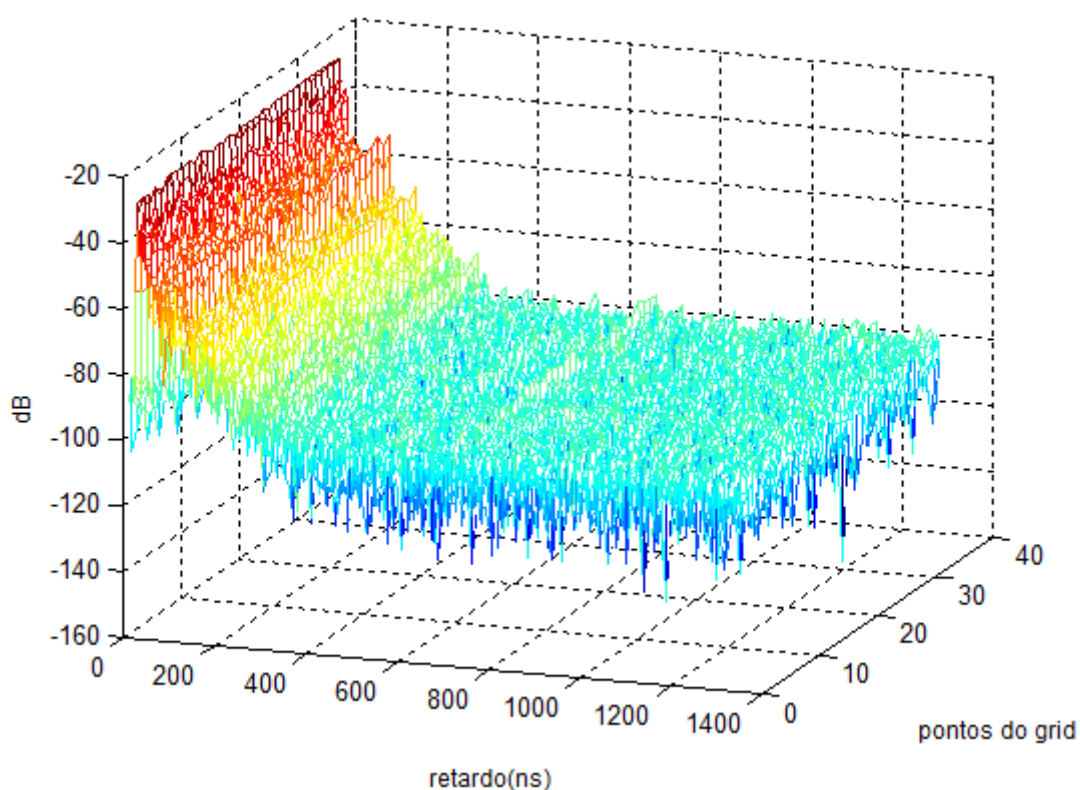


Figura 5.8 Gráfico com todos os perfis de retardo do ponto 1 do Ambiente A1

Para retirar os parâmetros de dispersão temporal do *grid*, o caminho mais simples é calcular os parâmetros de cada um dos 36 pontos e, posteriormente, calcular a média aritmética dos parâmetros de todos os pontos do *grid*. Para o local 1, o resultado do retardo médio e do espalhamento de retardo são, respectivamente, 19 ns e 12 ns. A Figura 5.9 mostra o resultado de cada um dos pontos do perfil (pontos verdes) e da média (ponto vermelho).

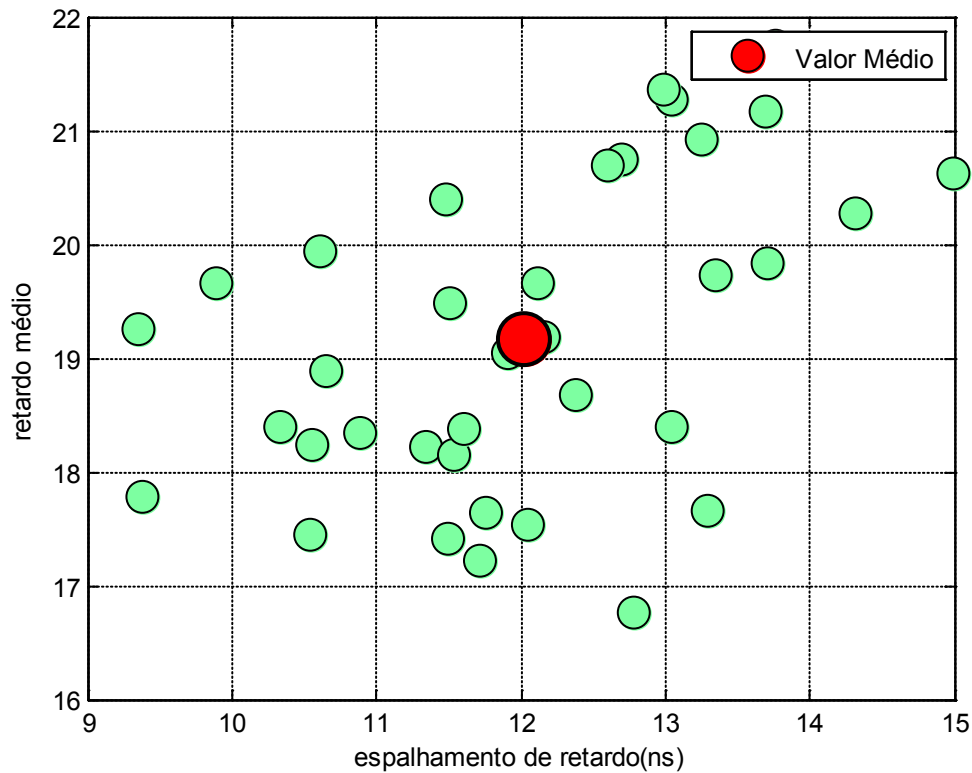


Figura 5.9 Média dos parâmetros do *grid* do local 1 do Ambiente A1

Outra forma de obter os parâmetros de dispersão temporal representativos do *grid* é através de um perfil médio que represente os 36 perfis medidos. De acordo com Cox [30], se as amostras de um processo aleatório são aproximadamente estacionárias no sentido amplo, é possível obter a média a partir de um processo médio calculado como a média das amostras alinhadas, ou seja, os parâmetros de dispersão temporal podem ser calculados diretamente de um perfil de retardos médio. A Figura 5.10 ilustra o perfil de retardos médio do *grid* do local 1 do Ambiente A1, obtido através do algoritmo descrito no Capítulo 4. O retardo médio e o espalhamento de retardo calculados a partir deste perfil são, respectivamente, 17 ns e 11 ns.

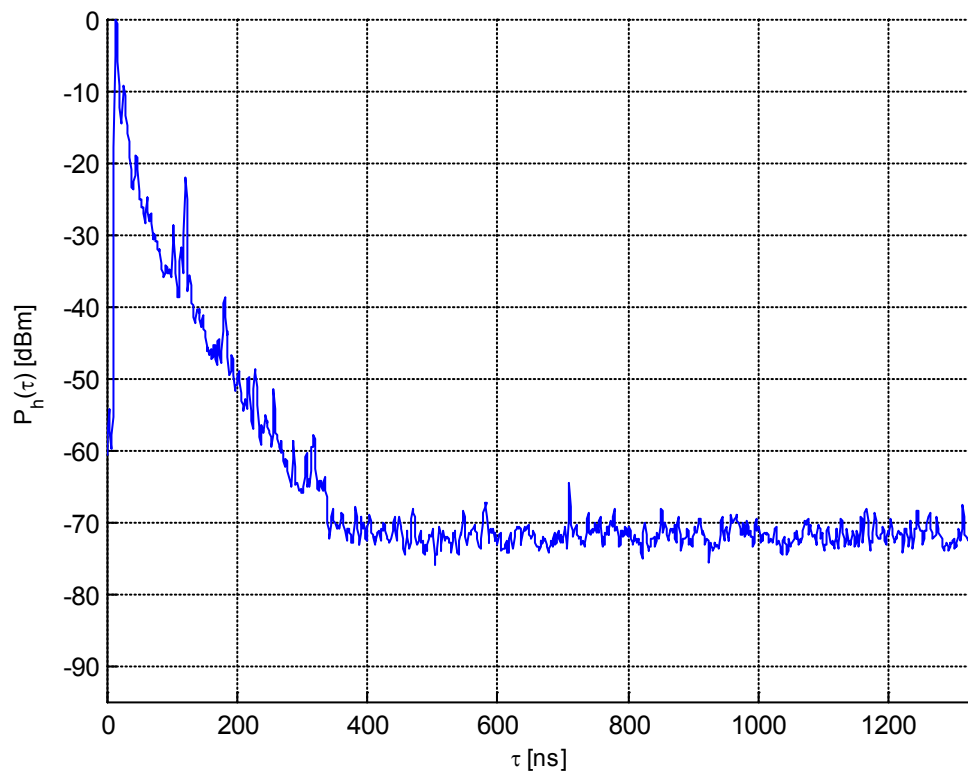


Figura 5.10 Perfil Médio do grid do local 1 do Ambiente A1

Analisando os resultados obtidos com diversos *grids*, foi possível concluir que os parâmetros calculados a partir do perfil médio estão próximos das médias aritméticas dos parâmetros dos perfis. Após diversos testes, optou-se, neste trabalho, em utilizar o perfil médio do grid com as seguintes seleções: janela Blackman-Harris de 3 termos, limiar de -50 dB, técnica CLEAN com 5 amostras e correlação de 50%. A Tabela 5.4 apresenta os resultados de acordo com o local de medidas e analisando, separadamente, os pontos exclusivamente *indoor* e os *indoor-outdoor*.

Tabela 5.4 Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A1

Ambiente				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Locais	A1	<i>Indoor</i>	1	11	17	22
			3	14	21	23
		<i>Indoor-</i>	2	13	28	19

		<i>outdoor</i>	4	15	31	24
			5	12	64	30
			6	13	83	11
			7	10	24	24

Após a obtenção dos parâmetros de entrada, pode-se continuar com o fluxo de programação da técnica GDR ilustrado na Figura 3.10, em que são simulados nesta ordem: o número de multipercursos, a separação espacial e duração dos raios, os retardos e amplitude de cada raio e o perfil de retardos. Um exemplo de simulação da técnica GDR com 500 perfis simulados, utilizando o algoritmo descrito em detalhes no Capítulo 4, está ilustrado na Figura 5.11.

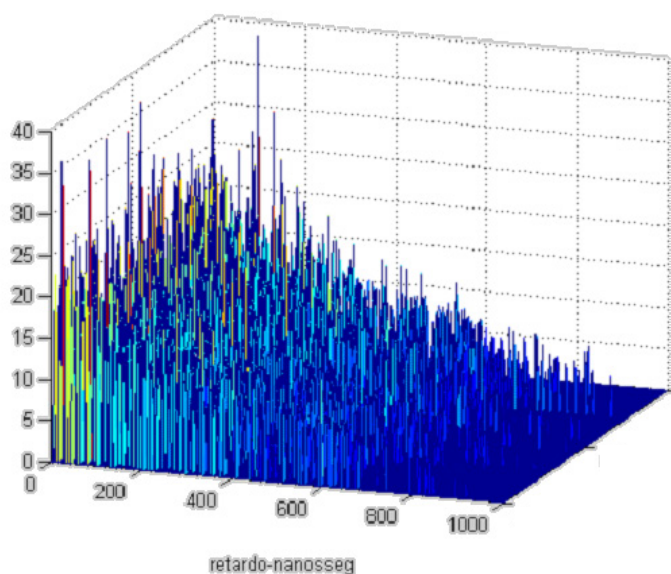


Figura 5.11 Simulação de 500 perfis com a técnica GDR

Simulando, inicialmente, o local 1 do Ambiente A1, podemos verificar o resultado do parâmetro espalhamento de retardos simulado, após a geração de 500 perfis, através do histograma, ilustrado na Figura 5.12.

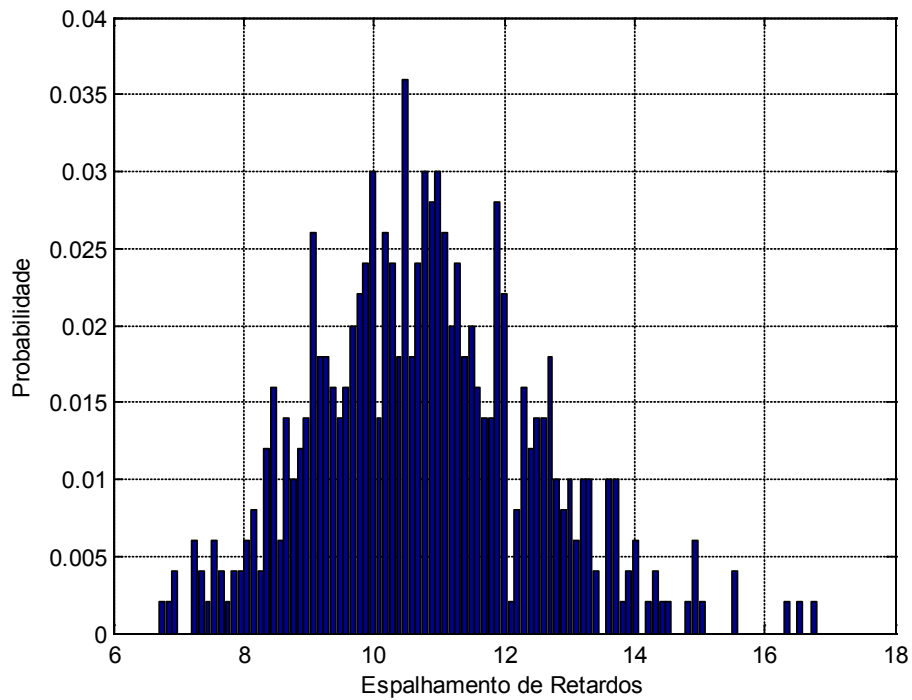


Figura 5.12 Histograma do Espalhamento de Retardos do Local 1 do Ambiente A1

Para comparar os parâmetros simulados e medidos, primeiramente será utilizada a Função Distribuição Acumulada do parâmetro espalhamento de retardo simulado, junto com as medidas realizadas no local 1 do ambiente A1, cujo resultado está na Figura 5.13.

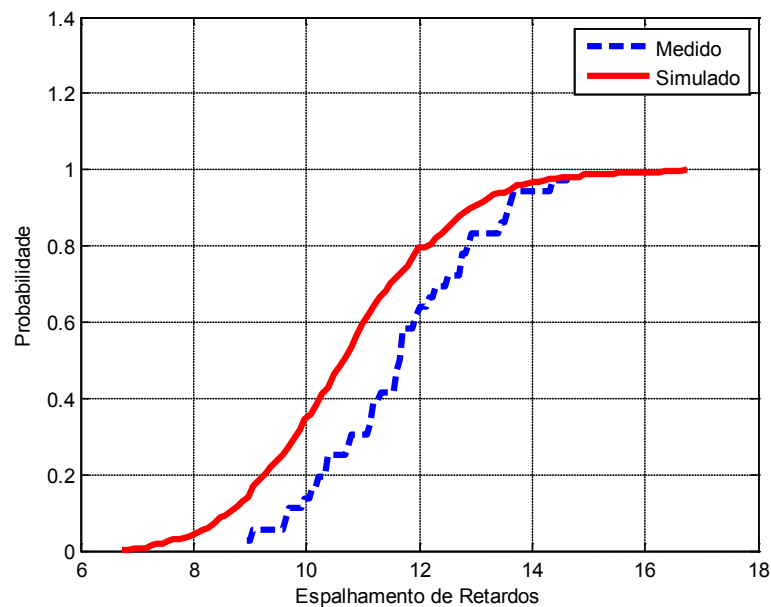


Figura 5.13 Função Distribuição de Probabilidade do Espalhamento de Retardos no local 1 do Ambiente A1

Na sequência, é comparado o valor médio simulado e o valor médio medido do espalhamento de retardo e, no mesmo gráfico, são plotados todos os valores medidos nos locais e mostrado o intervalo que contém 95% dos valores simulados. Esta comparação está na Figura 5.14.

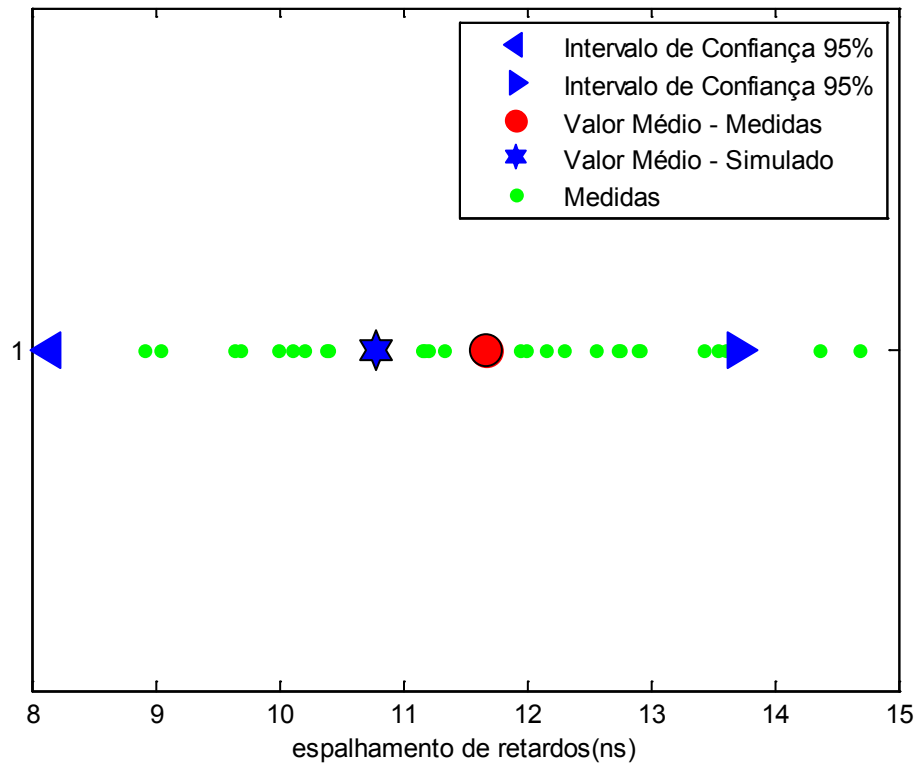


Figura 5.14 Comparação dos Valores de Espalhamento de Retardos do Local 1 do Ambiente A1

No último passo da simulação, verifica-se a convergência da técnica para o canal no local, através do gráfico do espalhamento de retardos versus número de perfis de retardo simulados, em que estão representados os valores simulados, o valor medido, e uma linha de referência correspondente a 99% do valor medido, conforme a Figura 5.15. O objetivo deste gráfico é constatar a partir de qual quantidade a geração de sinais simulados não altera, significativamente, o valor do espalhamento de retardo simulado para o canal.

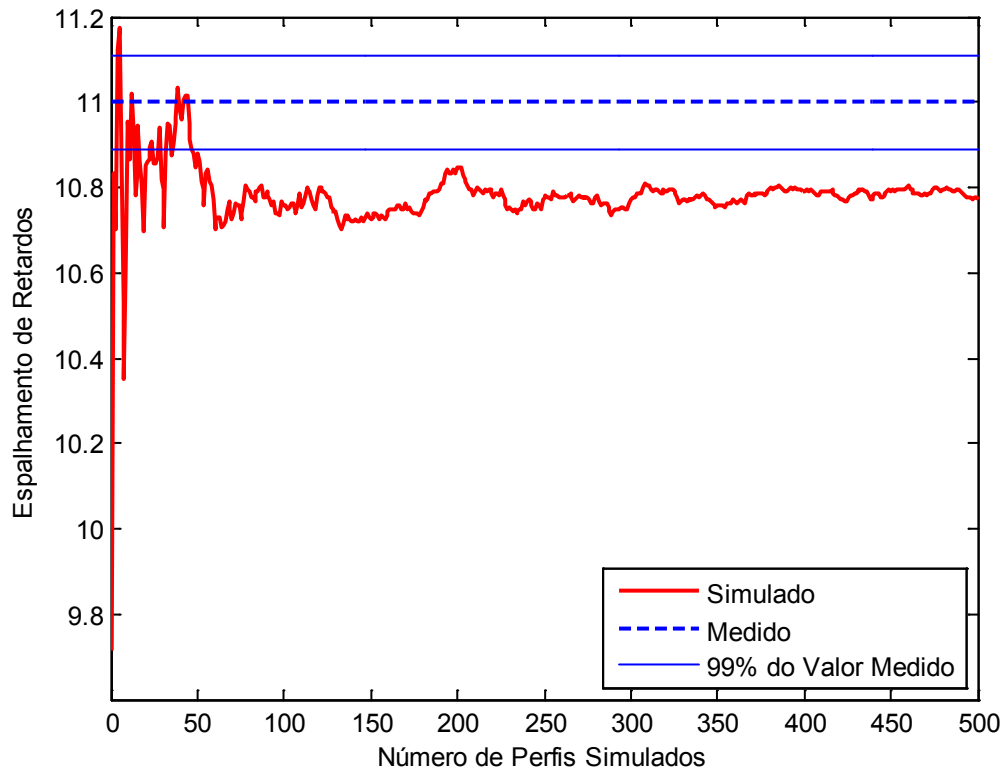
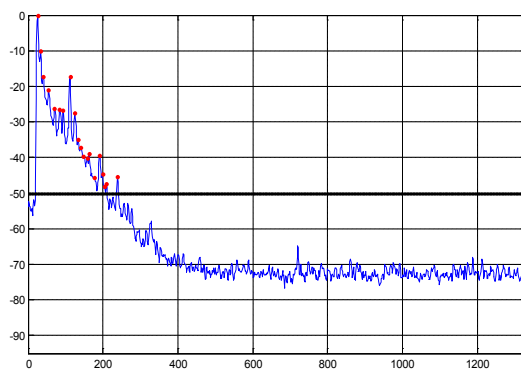
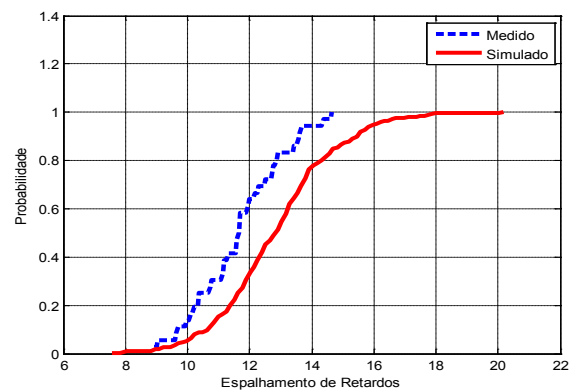


Figura 5.15 Espalhamento de Retardos x Número Perfis Simulados para o Local 1 do Ambiente A1

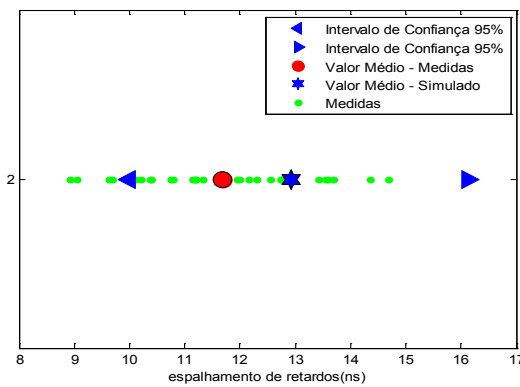
Foi concluída uma análise gráfica completa dos resultados no Local 1 do Ambiente A1, entretanto, nos próximos seis locais deste ambiente serão apresentados apenas os gráficos mais representativos com o objetivo de não sobrecarregar a leitura deste trabalho. Serão apresentados para os locais restantes: o perfil médio de retardos do grid, a função distribuição de probabilidade, a comparação de valores de espalhamento de retardos e o resultado do teste de convergência.



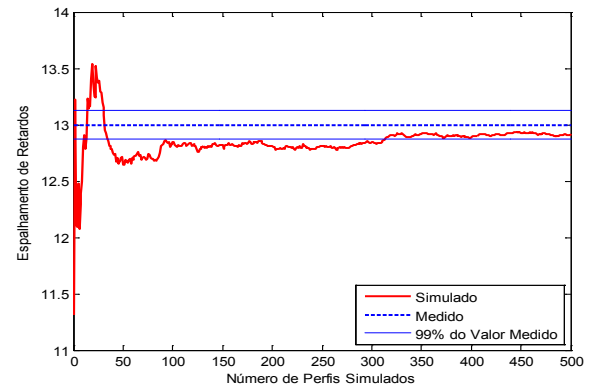
(a)



(b)

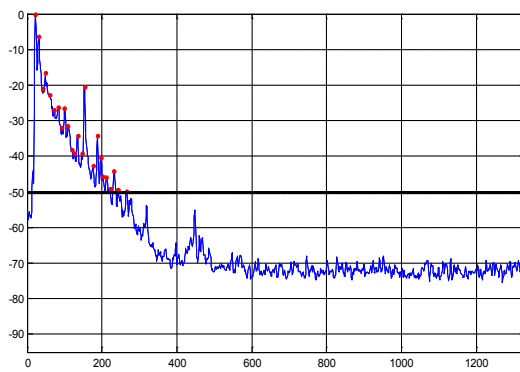


(c)

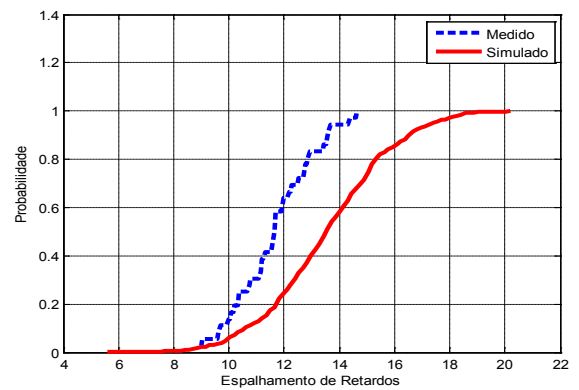


(d)

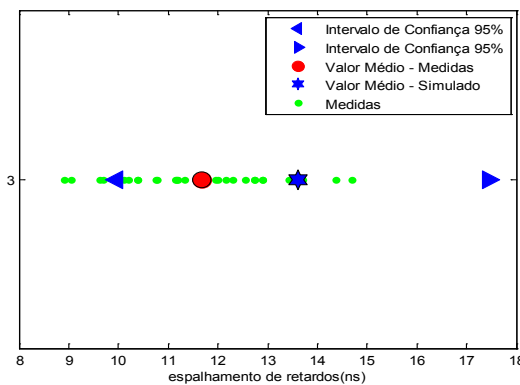
Figura 5.16 Gráficos do Local 2 do Ambiente A1: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



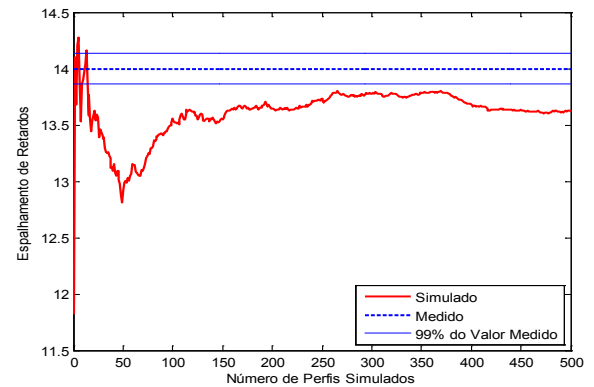
(a)



(b)

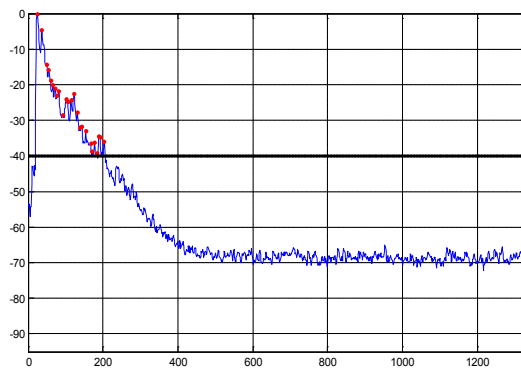


(c)

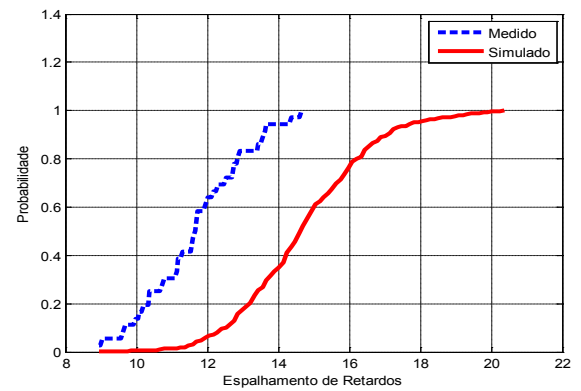


(d)

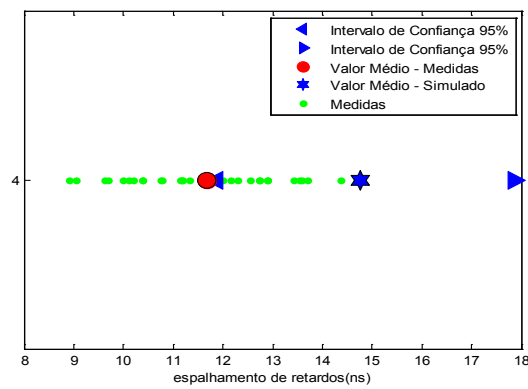
Figura 5.17 Gráficos do Local 3 do Ambiente A1: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



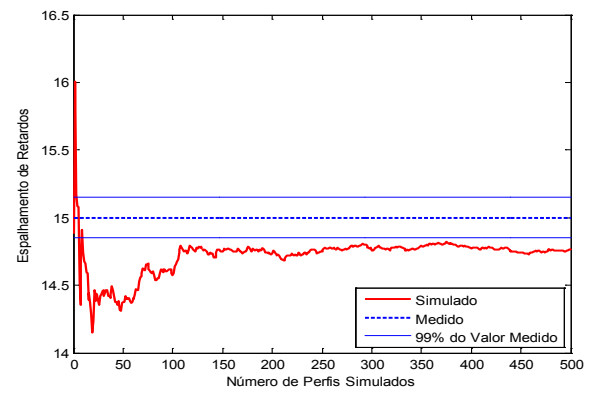
(a)



(b)

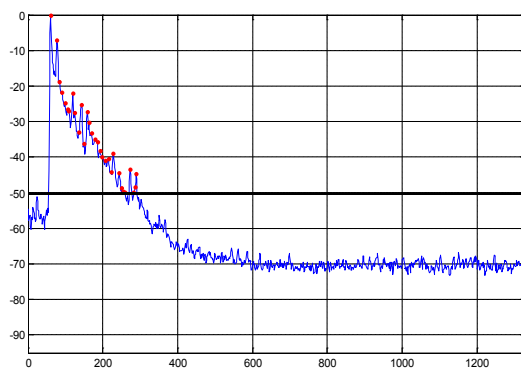


(c)

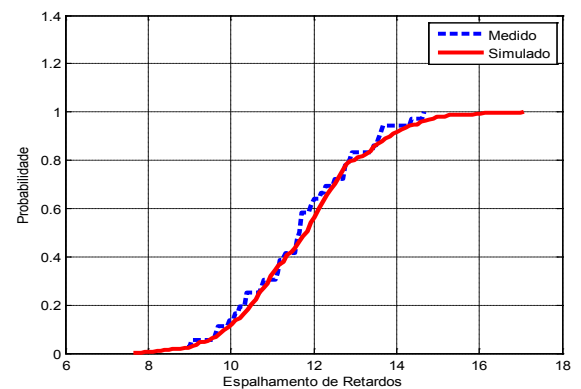


(d)

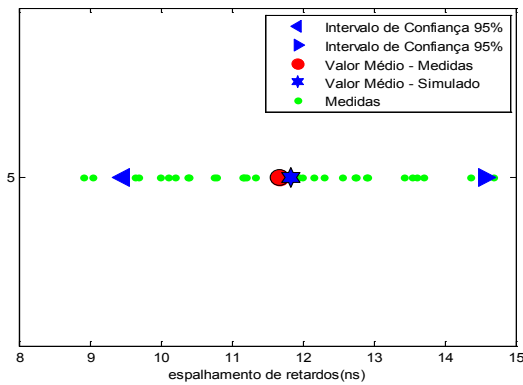
Figura 5.18 Gráficos do Local 4 do Ambiente A1: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



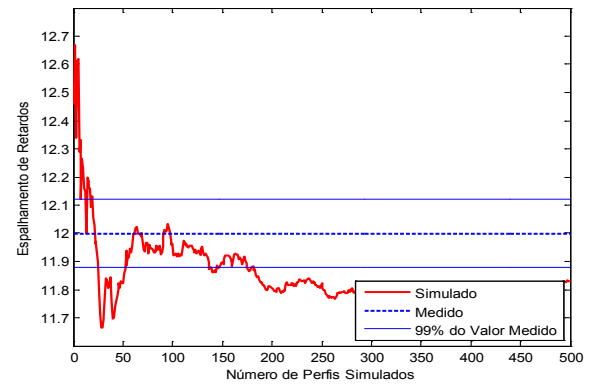
(a)



(b)

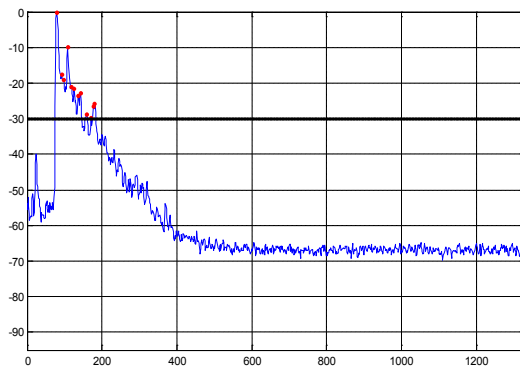


(c)

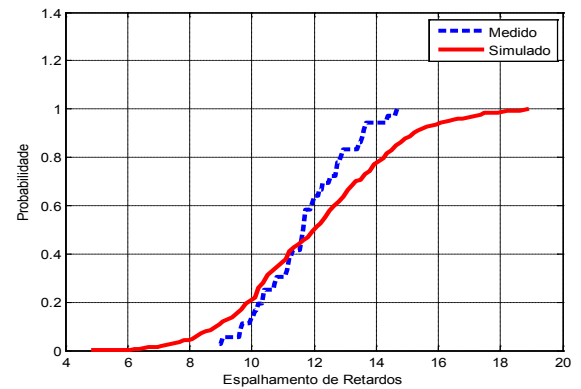


(d)

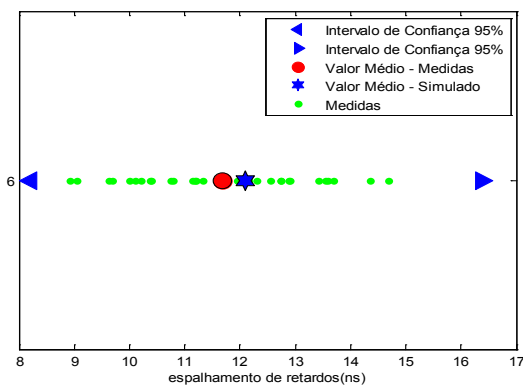
Figura 5.19 Gráficos do Local 5 do Ambiente A1: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



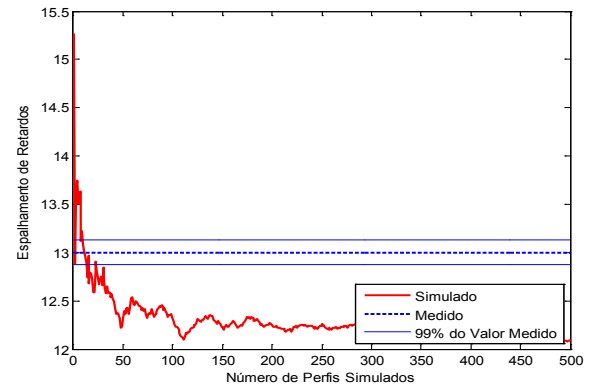
(a)



(b)

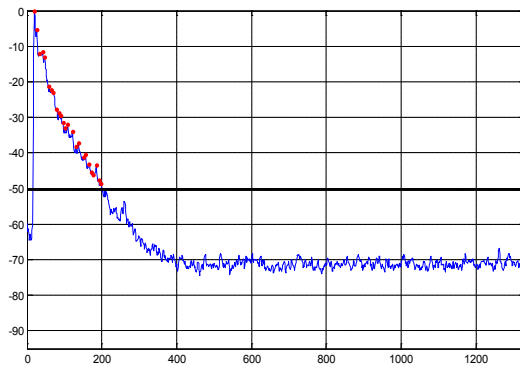


(c)

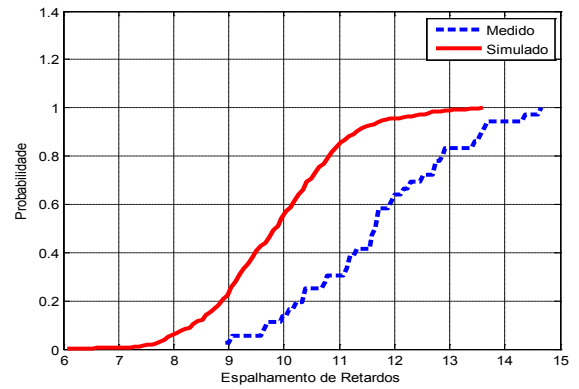


(d)

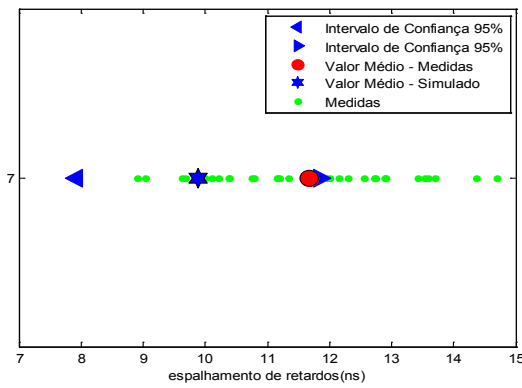
Figura 5.20 Gráficos do Local 6 do Ambiente A1: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



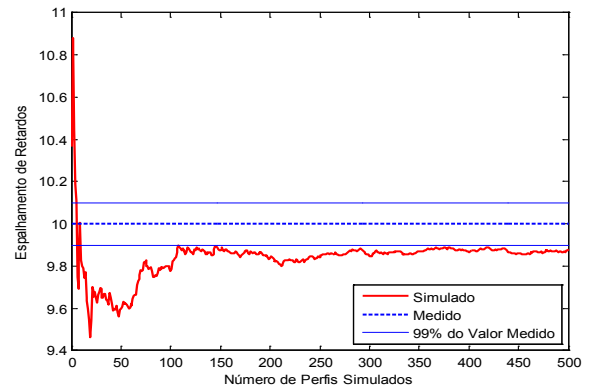
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.21 Gráficos do Local 7 do Ambiente A1: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados

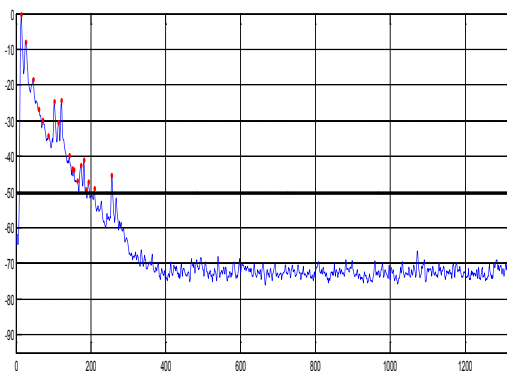
Cabe destacar que no local 4 do ambiente A1 foi necessário utilizar um limiar de -40 dB para eliminar falsos multipercursos (ou seja, ruído) antes do raio principal, o que pode ser verificado analisando o perfil médio neste ponto (Figura 5.18a). Pelo mesmo motivo, foi necessário ajustar o limiar para -30 dB no local 6 (Figura 5.20a).

5.2.1 Ambiente A2

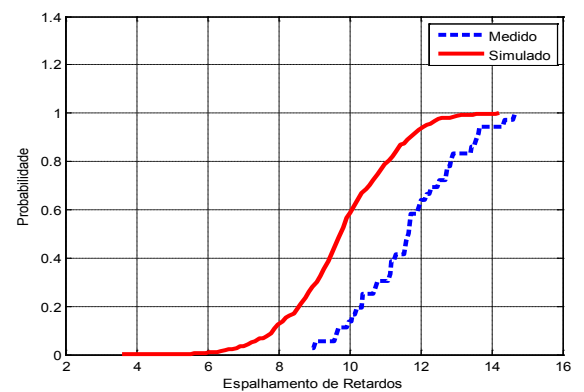
Os resultados para o ambiente A2, descrito no Capítulo 4, são apresentados a seguir, onde a Tabela 5.5 detalha os resultados das medidas e as Figuras de 5.22 a 5.28 exibem os resultados das simulações. Neste ambiente, o receptor foi mantido fixo, ao contrário do ambiente A1, e o transmissor foi deslocado para os sete pontos de medidas no andar.

Tabela 5.5 Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A2

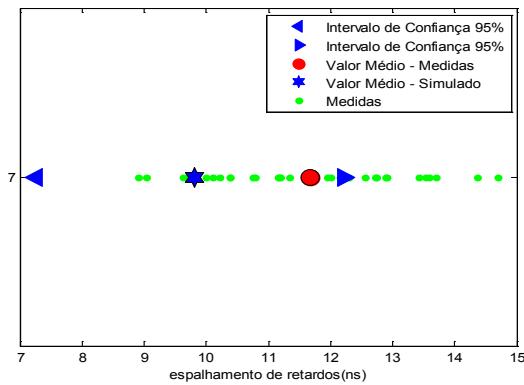
Ambiente				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Locais	A2	<i>Indoor</i>	1	10	18	18
			3	13	25	24
		<i>Indoor-outdoor</i>	2	11	26	25
			4	19	31	27
			5	16	68	13
			6	17	86	14
			7	21	26	34



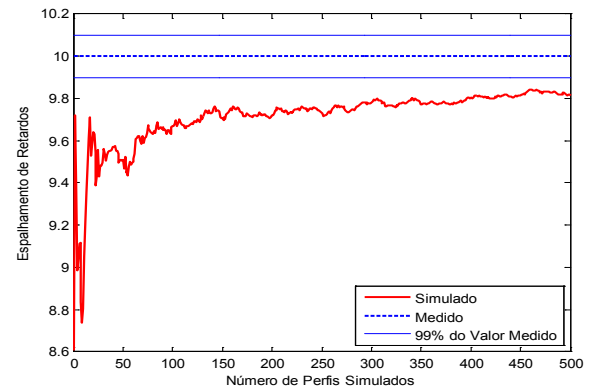
(a)



(b)

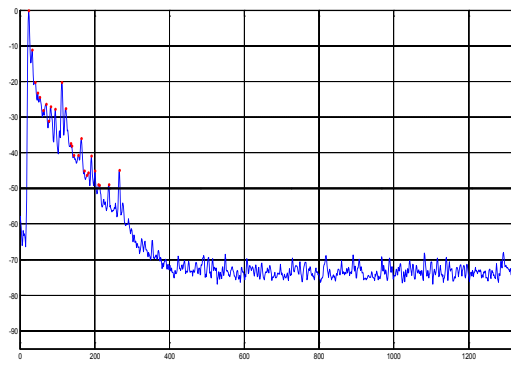


(c)

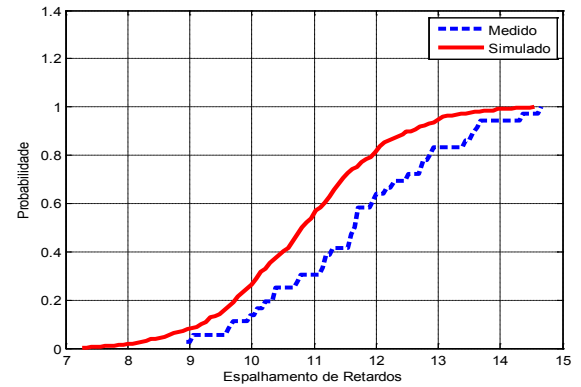


(d)

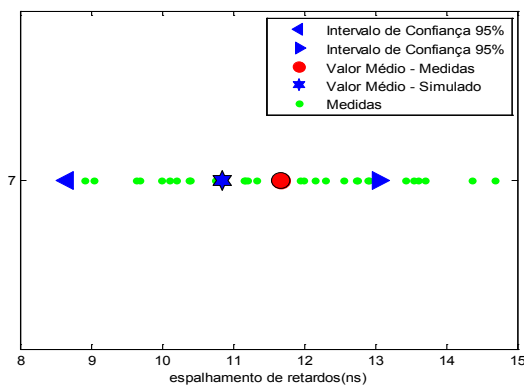
Figura 5.22 Gráficos do Local 1 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



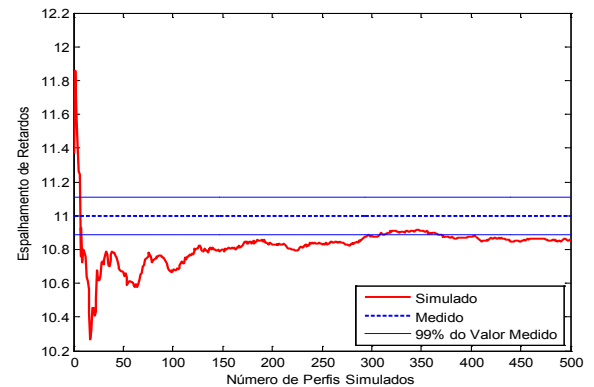
(a)



(b)

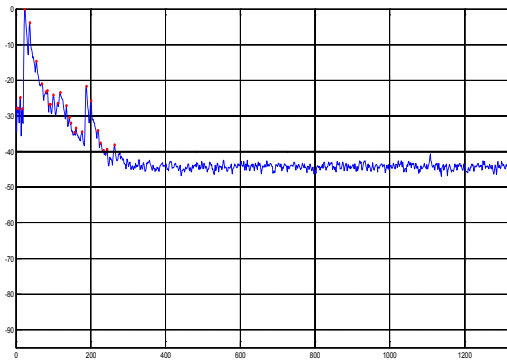


(c)

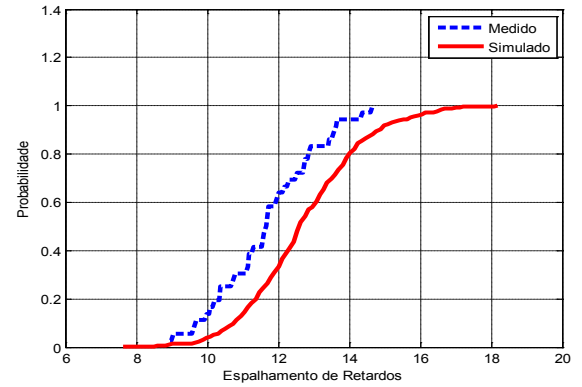


(d)

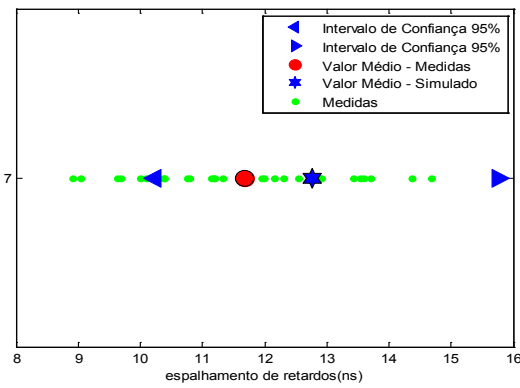
Figura 5.23 Gráficos do Local 2 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



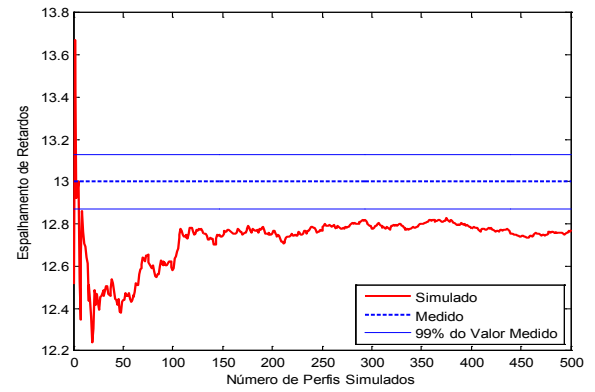
(a)



(b)

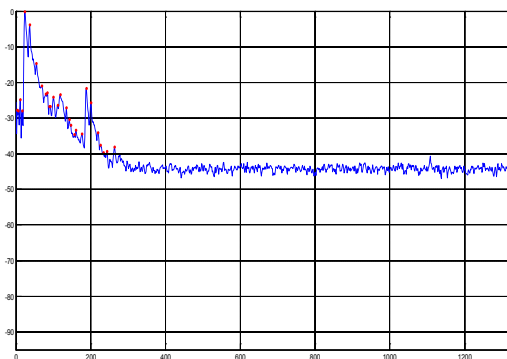


(c)

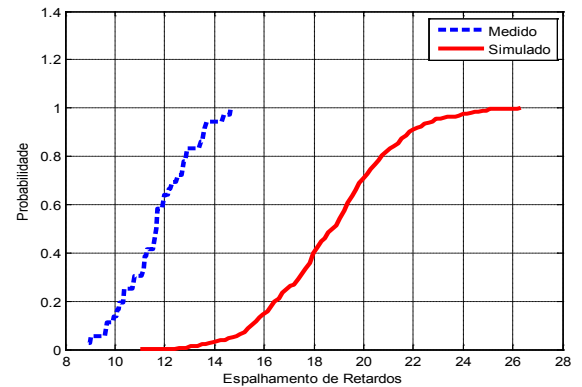


(d)

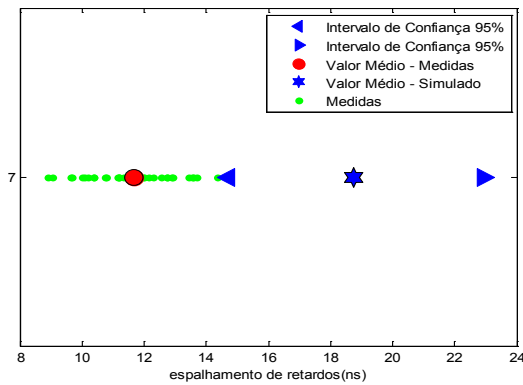
Figura 5.24 Gráficos do Local 3 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



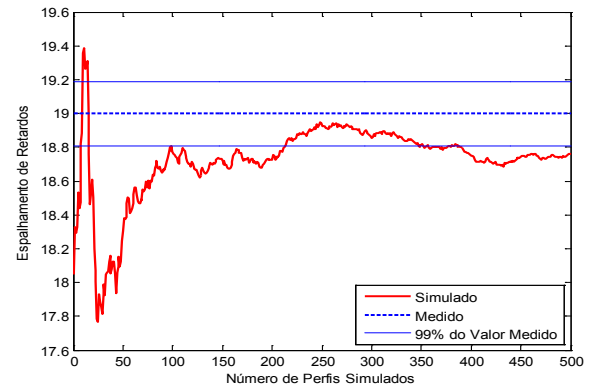
(a)



(b)

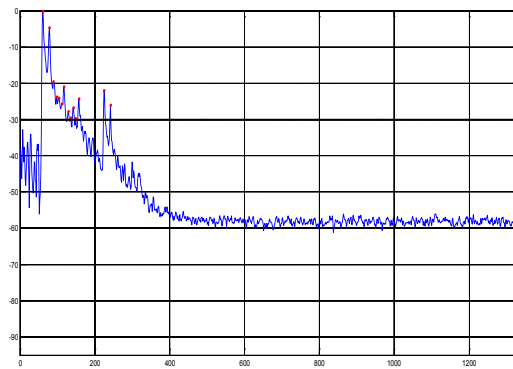


(c)

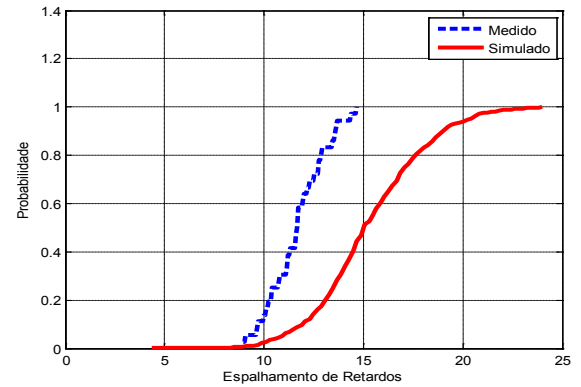


(d)

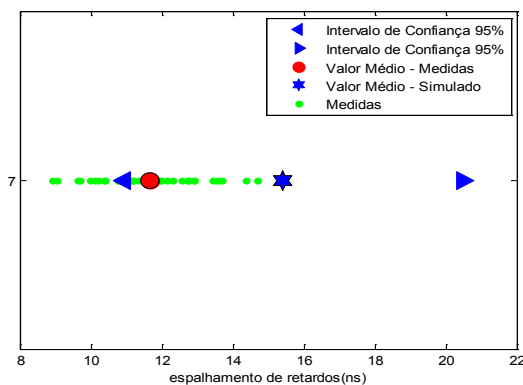
Figura 5.25 Gráficos do Local 4 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



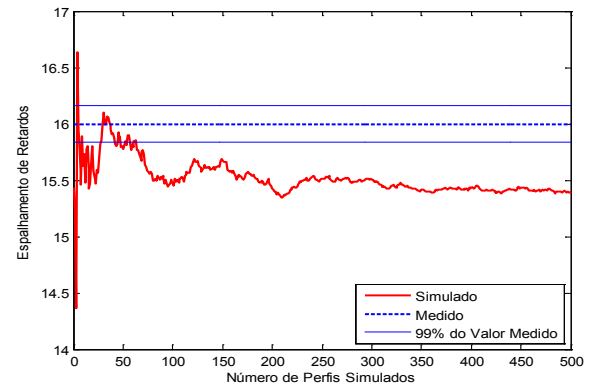
(a)



(b)

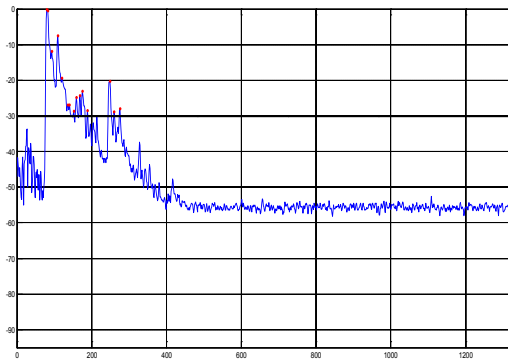


(c)

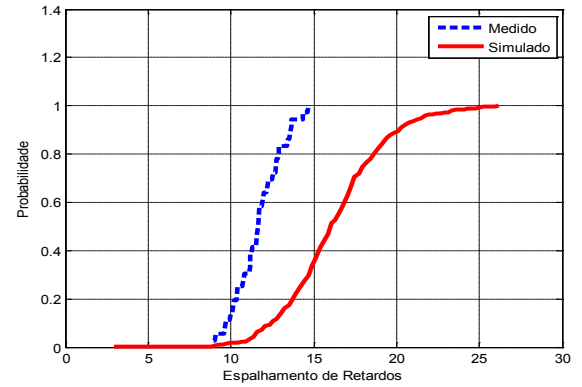


(d)

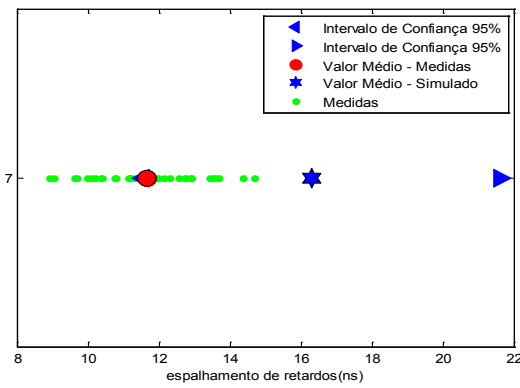
Figura 5.26 Gráficos do Local 5 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



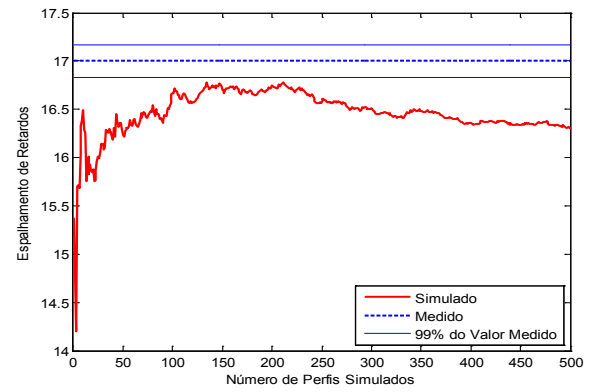
(a)



(b)

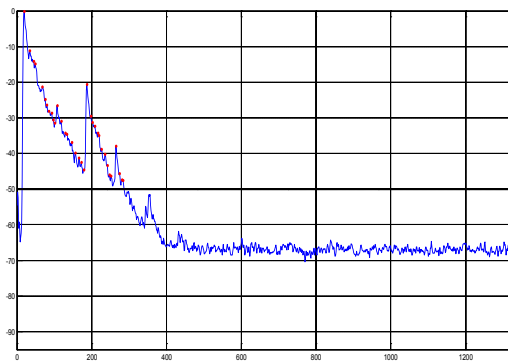


(c)

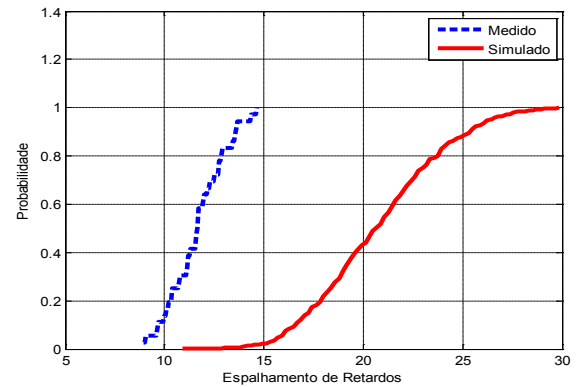


(d)

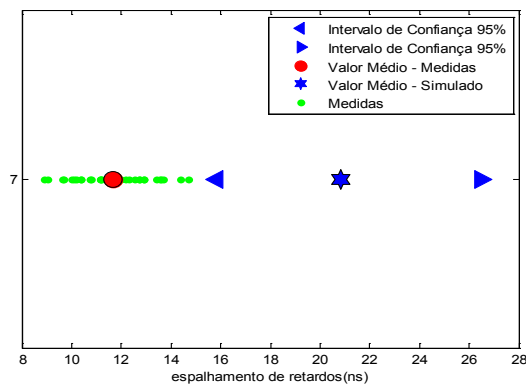
Figura 5.27 Gráficos do Local 6 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



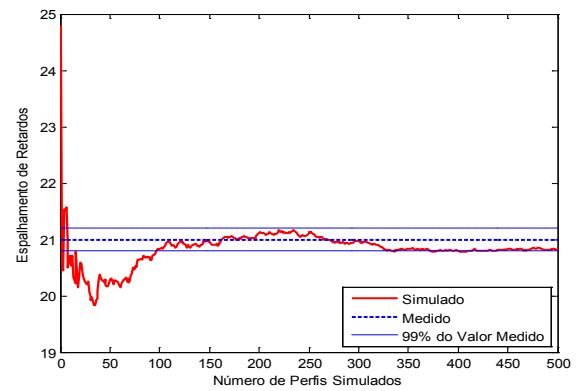
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.28 Gráficos do Local 7 do Ambiente A2: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados

Os resultados para os ambientes A3, A4, A5 e A6 estão no Apêndice 2, para não sobrecarregar a leitura deste capítulo com gráficos e tabelas.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

O desenvolvimento de sistemas de comunicações sem fio com altas taxa de transmissão, mais especificamente com faixa ultra larga, demanda uma caracterização detalhada do canal. De posse de um modelo de simulação adequado, é possível obter os parâmetros desejados e avaliar o desempenho do sistema, sem a necessidade de exaustivas campanhas de medições. É com este objetivo que este trabalho se desenvolveu, aplicando a técnica de Geração e Desaparecimento de Raios (GDR) para a simulação de canal faixa-larga.

Inicialmente, realizando um estudo de técnicas de simulação, optou-se por empregar uma técnica de modelagem desenvolvida para canal CDMA, denominada de técnica GDR e aplicá-la, de maneira inédita, em um canal de faixa ultra-larga, neste caso 750 MHz (na faixa de 760 a 1910 MHz). Foram utilizadas as medições realizadas em ambientes (*indoor e indoor-outdoor*) da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense [3].

Primeiramente, foram direcionados esforços na análise dos ambientes sondados, visando à obtenção dos parâmetros iniciais necessários para a aplicação da Técnica GDR e avaliando a aplicação de limiares de detecção, janelas e técnica de “limpeza de perfil”. Nesta análise, foi possível verificar, após a aplicação de diversos limiares (abaixo da amplitude do raio principal), que há uma grande semelhança entre os parâmetros obtidos, podendo-se concluir que a contribuição dos multipercursos com amplitudes mais baixas é muito pequena (como exemplo, tem-se a Tabela 5.2). Outro ponto que merece destaque é a obtenção de um perfil médio dos 36 pontos do *grid* de cada local, para o cálculo dos parâmetros de dispersão temporal, conforme método indicado em [30]. A diferença verificada foi pequena em relação à média aritmética dos perfis, mas o perfil médio permite uma análise mais confiável, pois se pode definir o limiar e calcular os parâmetros a partir de um único perfil representativo do *grid*.

O desenvolvimento de uma interface gráfica relativamente simples, para a análise dos sinais medidos e a aplicação da Técnica GDR, foi outro resultado deste trabalho. Um dos objetivos foi desenvolver um programa que não só permitisse gerar os resultados e gráficos necessários para a avaliação da técnica, mas também, servisse como uma ferramenta que pudesse ser facilmente utilizada e, inclusive, ajustada com adição de novas funcionalidades por qualquer pesquisador que tenha interesse.

Através dos resultados obtidos para os ambientes *indoor* e *indoor-outdoor*, com o programa desenvolvido, foi possível retirar algumas conclusões sobre a aplicabilidade da técnica GDR. Após a comparação dos valores de espalhamento de retardos e da análise da função distribuição de probabilidade (medida e simulada), para todos os locais dos ambientes denominados A1 a A6, foi demonstrado que a técnica funciona adequadamente para o canal faixa larga de 750 MHz, com algumas vantagens em relação a outras técnicas e, também, com algumas ressalvas.

A primeira e grande vantagem da técnica GDR é a sua relativa simplicidade. Analisando os parâmetros de entrada propostos por Karasawa[06] (Tabela 4.1) e comparando as equações para geração dos perfis simulados (equações 3.9 a 3.25) com outros modelos (como Hashemi[23], Suzuki[22] e AR[04][20]), pode-se afirmar que esta técnica é menos complexa tanto na obtenção dos dados de entrada quanto na simulação dos perfis mas é, ainda assim, eficaz. Cabe destacar, também, algumas dificuldades na implementação da técnica e um grande obstáculo na elaboração desta dissertação foi o fato de que, apesar de citada em outros trabalhos [14] [15], há apenas um artigo que trata especificamente sobre a técnica GDR de Iwai e Karasawa [06], e deste único artigo foi necessário extrair as principais informações necessárias para aplicação da técnica, inclusive parâmetros inéditos (p. ex., média de vida de um raio) que envolvem o surgimento (e a supressão) dos raios, características, inclusive, que justificam o nome da técnica.

Os resultados apresentados no Capítulo 5 e no Anexo 2, em que os parâmetros simulados foram comparados com os valores medidos, ilustram que a técnica funcionou adequadamente para a maioria dos pontos e ambientes. Para os pontos LOS nos ambientes *indoor* e *indoor-outdoor*, verifica-se que os valores medidos se encontram dentro da faixa de valores simulados, fato que pode ser observado nos gráficos tanto na função densidade de probabilidade quanto na comparação com o intervalo de confiança (Figuras 5.13 a 5.28 do

Capítulo 5). Por outro lado, analisando os pontos NLOS, tanto *indoor* quanto *indoor-outdoor*, que correspondem aos locais 4 e 7 dos ambientes A1 e A2 (Figuras 5.18, 5.21, 5.25 e 5.27, gráficos (b) e (c)), verifica-se que os valores simulados e medidos não estão totalmente ajustados, e que, portanto, é necessária a realização de medições em situação NLOS, para se afirmar sobre a validade da técnica neste caso. Verificou-se, também de maneira geral, que esta técnica se ajusta melhor para valores de retardos médios a partir de aproximadamente 10 ns.

Por último, verificou-se a convergência da técnica em cada local, através do gráfico do espalhamento de retardo versus número de perfis de retardo simulados. Com isso, foi possível verificar o valor a partir do qual o espalhamento de retardo simulado mantém-se aproximadamente constante e evita-se, utilizando este valor, um processamento excessivo, que não modificará o resultado de maneira significativa. Os valores de convergência variam um pouco para cada local, mas foi possível constatar que, para a grande maioria dos casos, a convergência da técnica é garantida com até 400 perfis simulados.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Os tópicos listados a seguir servem como sugestões de temas, que podem ser desenvolvidos em trabalhos futuros:

- Aplicação e análise da técnica GDR em ambientes puramente *outdoor*, principalmente em pequenas distâncias, de forma a verificar a validade do modelo;
- Realização de mais medições em ambientes *indoor* e *indoor-outdoor* NLOS para validação da técnica GDR;
- Realização de uma nova campanha de medições em faixas de frequências mais altas, que possam ser designadas para a tecnologia UWB no Brasil;
- Utilização da interface desenvolvida com aplicação de novas técnicas de “limpeza de perfil” na tentativa de obter uma extração dos dados de entrada mais eficiente e
- Comparação da Técnica GDR com o modelo de *clusterização* e com o modelo auto-regressivo, preferencialmente integrando os algoritmos destes modelos ao programa desenvolvido nesta dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, São Paulo, CRC Press, 1993.
- [2] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, New York: John Wiley & Sons, 1992.
- [3] C. F. Souza, *Análise da Dispersão Temporal de Canais de Banda Ultralarga (UWB) através de Medidas Realizadas em Ambientes Internos e Externos*, Dissertação de Mestrado, UFF, 2006.
- [4] F. A. L. da Silva, *Modelo Auto-regressivo Aplicado na Simulação de um Canal Rádio para Sinais de Banda Ultralarga*, Dissertação de Mestrado, UFF, 2009
- [5] J. A. Cal Braz, *Máquina de Vetor de Relevância Aplicada à Estimativa do Canal Multipercurso Faixa-larga*, Dissertação de Mestrado, UFF, 2010
- [6] H. Iwai, Y. Karasawa, *Wideband Propagation Model for the Analysis of the Effect of the Multipath Fading on the Near-Far Problem in CDMA Mobile Radio Systems*, IEICE Trans. Comm., Vol E 76-B, pp-103-112, fev 1993.
- [7] P. A. Bello, *Characterization of randomly time-variant linear channels*, IEEE Trans. on Commun., 1963
- [8] B. G. Lee, S. Cho, *Broadband Wireless Access & Local Networks: Mobile Wimax and Wifi*, mai 2008.
- [9] W. C.Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, 1989
- [10] J. F. Ossanna Jr., *A model for mobile radio fading due to building reflections: Theoretical and experimental waveform power spectra*, Bell. Syst. Tech. J., vol 43, pp. 2935-2971, nov 1964.
- [11] R. H. Clarke, *A statistical theory of mobile radio reception*, Bell. Syst. Tech. J., vol 47, pp. 957-1000, jul 1968.
- [12] E. N. Gilbert, *Energy reception for mobile radio*, Bell. Syst. Tech. J., vol 44, pp. 1779-1803, out 1965.

- [13] T. Aulin, *A Modified Model for the Fading Signal at a Mobile Radio Channel*, IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-28, ago 1979.
- [14] A. G. Guimarães, *Modelagem e Simulação de Canais Móveis*, Tese de Mestrado, IME, jan 1998.
- [15] A. G. Guimarães e E. L. Pinto, *Técnicas de Simulação de Canais Rádio Móveis*, Revista Científica Periódica – Telecomunicações, Volume 04, Número 1, mai 2001.
- [16] Recommendation ITU-R M.1225, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, 1997
- [17] Horward e K. Pahlavan, *Autoregressive Modeling of Wide-Band Indoor Radio Propagation*, IEEE Transaction on Commun., v. 40, pp. 1540-1552, set 1992.
- [18] K. Pahlavan e A. H. Levesque, *Wireless Information Networks*, 1995
- [19] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 1996
- [20] F. A. L. da Silva, L. J. de Matos, E. Cataldo, *Modelo Auto-regressivo Aplicado na Simulação de um Canal UWB*.
- [21] G. L. Turin, F. D. Clapp, T. L. Johnston, S. B. Fine, D. Lavry, *A Statistical Model of Urban Multipath Propagation*, IEEE Trans. on Vehic. Techn, Vol. VT-21, fev 1972.
- [22] H. Suzuki, *A Statistical Model for Urban Radio Propagation*, IEEE Trans. on Comumm., vol. COM-25, jul 1977.
- [23] H. Hashemi, *Simulation of the Urban Radio Propagation Channel*, IEEE Trans. on Vehic. Techn., Vol VT-28, pp 213-225, ago 1979.
- [24] W. G. Newhall, K. Saldanha, T. S. Rappaport, *Using RF Channel Sounding Measurements to Determine Delay Spread and Path Loss*, R. F. Des., jan 1996.
- [25] A. Leon-Garcia, *Probability and Random Processes for Eletrical Engineering*, jul 1993.
- [26] F. J. Harris, *On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform*, Proceedings of the IEEE, v.66, n.01, p. 51-83, jan 1978
- [27] L. J. de Matos e B. S. Marinho, *A Comparison of the Delay Spread obtained with Different Power Delay Profiles De-noising Techniques*, Engevista, 2011
- [28] E.S. Sousa; V.M. Jovanović, and C. Daigneault, *Delay Spread Measurements for the Digital Cellular Channel in Toronto*, IEEE Trans. on Vehicular Technology, v. 43, pp. 837-847, November 1994.
- [29] M.H.C. Dias and G.L. Siqueira, *On the Use of Wavelet-Based Denoising to Improve Power Delay Profile Estimates from 1.8 GHz Indoor Wideband Measurements*, Wireless Personal Comm., Springer, v. 32, pp. 153-175, January 2005.

- [30] D. C. Cox, *Delay Doppler Characteristics of Multipath Propagation at 910 MHz in a Suburban Mobile Radio Enviroment*, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, v. ap-20, n° 5, sep 1972.
- [31] S. J. Chapman, *MATLAB programming for engineers*, 2003
- [32] F. J. B. Barros, *Medidas e Análise da Dispersão Temporal do Canal de Propagação UWB Indoor em Vários Tipos de Ambientes*, Tese de Mestrado, PUC, abr 2005.

APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE I - Programa de Simulação no Matlab

```
function varargout = rodrigo_leni(varargin)
% rodrigo_leni é a tela inicial de operação do programa utilizando as
% GUIs
% do Matlab
%
%      A GUI é uma interface gráfica de usuário (GUI - Graphical User
%      Interface). Essa interface proporciona um ambiente familiar
para
%      trabalhar. Esse ambiente contém botões listas, chaves, listas,
%      caixas de texto etc, assim, o usuário pode-se concentrar em
utilizar
%      o programa em vez de cuidar da mecânica envolvida.
%
%
%
%
% Código de inicialização - Não deve ser editado
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @rodrigo_leni_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @rodrigo_leni_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% Fim do código de inicialização

% --- Executa somente após a janela se tornar visível
function rodrigo_leni_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);
```

```
function varargout = rodrigo_leni_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
```

```
varargout{1} = handles.output;
```

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
```

```
% --- Função que será executada quando pressionado o botão
(pushbutton1).
```

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
close
tela2
```

```
-----XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX-----
```

```
function varargout = tela2(varargin)
% tela2 é determinada as opções para os dados de entrada utilizando as
GUIs
% do Matlab
%
%
% Código de inicialização - Não deve ser editado
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',   @tela2_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',    @tela2_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',    [] , ...
                  'gui_Callback',     []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% Fim do código de inicialização
```



```

% --- Executa somente após a janela se tornar visível
function tela2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

%Inicialmente é marcado o primeiro botão
set (handles.radiobutton1, 'Value', 1);

function varargout = tela2_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Função que será executada quando pressionado o botão
(radiobutton1).
function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% São criadas ações mutuamente exclusivas
% Neste caso quando é pressionado o botão 1(radiobutton1), o botão 2
% (radiobutton2) é automaticamentedesmarcado.
set (handles.radiobutton1, 'Value', 1);
set (handles.radiobutton2, 'Value', 0);

% --- Função que será executada quando pressionado o botão
(radiobutton2)
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% São criadas ações mutuamente exclusivas
% Neste caso quando é pressionado o botão 2 (radiobutton2), o botão 1
% (radiobutton1) é automaticamente desmarcado.
set (handles.radiobutton1, 'Value', 0);
set (handles.radiobutton2, 'Value', 1);

```

```

% --- Função que será executada quando pressionado o botão
(pushbutton1).
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Verifica o valor do Botão 1 (radiobutton1)
k_tela2=get(handles.radiobutton1,'Value');

switch k_tela2

    case 1 %Se o botão 1 está marcado
        close
        tela3

    case 0 %Se o botão 1 não está marcado, ou seja o botão 2 está
        marcado

        close
        tela4

end

-----XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX-----

function varargout = tela3(varargin)
% Na tela3 é possível escolher o ambiente de medidas e o tipo(s) de
% gráfico(s) que será(ão) gerado(s) utilizando as GUIs do Matlab
%
%
%
% Código de inicialização - Não deve ser editado
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',   @tela3_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',    @tela3_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',    [] , ...
                  'gui_Callback',     []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% Fim do código de inicialização

% --- Executa somente após a janela se tornar visível
function tela3_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

```

```

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = tela3_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executa na mudança de seleção no popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
k_desc = get(handles.popupmenu1,'Value');

switch k_desc

    case 1
        str = sprintf('Ambiente 1 a: 2° Andar do Prédio de
Engenharia da UFF (bloco D), pontos indoor. ');
        set (handles.text5,'String',str);

    case 2

        str = sprintf('Ambiente 2 a: 3° Andar do Prédio de
Engenharia da UFF (bloco D), pontos indoor. ');
        set (handles.text5,'String',str);

    case 3

        str = sprintf('Ambiente 3 a: Hall do Prédio de Engenharia
da UFF (bloco D), pontos indoor. ');
        set (handles.text5,'String',str);

    case 4
        str = sprintf('Ambiente 1 b: 2° Andar do Prédio de
Engenharia da UFF (bloco D), pontos indoor-outdoor. ');
        set (handles.text5,'String',str);

    case 5

```

```

        str = sprintf('Ambiente 2 b: 3° Andar do Prédio de
Engenharia da UFF (bloco D), pontos indoor-outdoor.');
```

set (handles.text5, 'String', str);

case 6

```

        str = sprintf('Ambiente 3 b: Hall do Prédio de Engenharia
da UFF (bloco D), pontos indoor-outdoor.');
```

set (handles.text5, 'String', str);

end

% --- Executa durante a criação do objeto

```
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
```

% --- Executa quando é selecionada a checkbox1.

```
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

% --- Executa quando é selecionada a checkbox2.

```
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

% --- Executa quando é selecionada a checkbox3.

```
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

% --- Executa quando é selecionada a checkbox4.

```
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

% --- Função que será executada quando pressionado o botão 1(pushbutton1).

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

k_tela3=get(handles.popupmenu1, 'Value');

ambiente=k_tela3;

k_box1=get(handles.checkbox1, 'Value')

k_box2=get(handles.checkbox2, 'Value')

k_box3=get(handles.checkbox3, 'Value')

```

k_box4=get(handles.checkbox4,'Value')

close

tela3_iwai_8

% --- Função que será executada quando pressionado o botão
2(pushbutton2).
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

close

tela2

-----XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX-----

function varargout = tela4(varargin)
% Na tela 4 é feita a seleção manual dos dados de entrada
%
%
%
% Código de inicialização - Não deve ser editado
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',   @tela4_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',    @tela4_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',    [], ...
                  'gui_Callback',     []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% Fim do código de inicialização

% --- Executa somente após a janela se tornar visível
function tela4_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = tela4_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```
varargout{1} = handles.output;
```

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
% --- Executa durante a criação do objeto  
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
% --- Executa quando é selecionada a checkbox1.  
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% --- Executa quando é selecionada a checkbox2.  
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% --- Executa quando é selecionada a checkbox3.  
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% --- Executa quando é selecionada a checkbox4.  
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% --- Função que será executada quando pressionado o botão  
1(pushbutton1).  
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
%k_tela3=get(handles.popupmenu1,'Value');
```

```

%ambiente=k_tela3;

ambiente=0;

k_box1=get(handles.checkbox1,'Value')

k_box2=get(handles.checkbox2,'Value')

k_box3=get(handles.checkbox3,'Value')

k_box4=get(handles.checkbox4,'Value')

media_vida=get(handles.slider5,'Value');

retardo_medio=get(handles.slider6,'Value');

espalhamento_retardos=get(handles.slider4,'Value');

numero_raios=get(handles.slider7,'Value');

retardo_maximo=get(handles.slider8,'Value');

numero_perfis=get(handles.slider3,'Value');

close

tela3_iwai_8

% --- Função que será executada quando pressionado o botão
2(pushbutton2).
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

close

tela2

% --- Função executada quando a régua é movimentada
function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)

numero_perfis=get(hObject,'Value');
str = sprintf('Número de Perfis: %d',numero_perfis);
set(handles.text7,'String',str);

% --- Executada durante a criação do objeto
function slider3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

% --- Função executada quando a régua é movimentada
function slider4_Callback(hObject, eventdata, handles)

espalhamento_retardos=get(hObject,'Value');

```

```

str = sprintf('Esp. de Retardos (ns): %d',espalhamento_retardos);
set (handles.text8,'String',str);

% --- Executada durante a criação do objeto
function slider4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

% --- Função executada quando a régua é movimentada
function slider5_Callback(hObject, eventdata, handles)

media_vida=get(hObject,'Value');
str = sprintf('Média de Vida (m): %d',media_vida);
set (handles.text9,'String',str);

% --- Executada durante a criação do objeto
function slider5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

% --- Função executada quando a régua é movimentada
function slider6_Callback(hObject, eventdata, handles)

retardo_medio=get(hObject,'Value');
str = sprintf('Retardo Médio (ns): %d',retardo_medio);
set (handles.text13,'String',str);

% --- Executada durante a criação do objeto
function slider6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

% --- Função executada quando a régua é movimentada
function slider7_Callback(hObject, eventdata, handles)

numero_raios=get(hObject,'Value');
str = sprintf('Número de Raios: %d',numero_raios);
set (handles.text10,'String',str);

% --- Executada durante a criação do objeto
function slider7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

```



```
% --- Função executada quando a régua é movimentada
function slider8_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
retardo_maximo=get(hObject,'Value');
str = sprintf('Retardo Máx.(ns): %d',retardo_maximo);
set(handles.text12,'String',str);
```

```
% --- Executada durante a criação do objeto
function slider8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
```

```
function slider5_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
-----XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX-----
```

```
%%%%%%%%%Simulação usando a tecnica de Geração de Desaparecimento de
Raios%%%%%%%%%
```

```
% Programa para Simulação usando a técnica desenvolvida por IWAI e
KARASAWA
%clear all,close all,clc;
%disp('--> Simulação usando a técnica de Geração e Desaparecimento de
Raios<--')
```

```
%%%%%%%%%Parâmetros de
Entrada%%%%%%%%%
```

```
%localdig;
local=dlmread('localdig.txt');
%local=4;
```

```
local_ponto=1;
```

```
%k_box1=1;k_box2=1;k_box3=1;k_box4=1;
%local,local_ponto, local_grid
```

```
%dados_medidos;
ambiente=1;
%dados_medidos2;
```

```
    %numerodig;
    %taumediodio;
    %desvioidig;
```

```
    numero_dig=dlmread('numerodig.txt');
```

```

    taumedio_dig=dlmread('taumedioidig.txt');
    desvio_dig=dlmread('desvioidig.txt');

%dados_medidos;

%ambiente=input('--> Entre com o ambiente que deve ser considerado na
simulação:(1,2 ou 3)');
% O ambiente 1 é a combinação dos ambientes A1 e A2 da tese do
Cristiano
% O ambiente 2 é a combinação dos ambientes A3 e A4
% O ambiente 3 é a combinação dos ambientes A5 e A6

kla=0;

if kla==1

switch ambiente

    case 0
        %Neste caso são adotados os parâmetros configurados
manualmente na
        %tela 4

        % delta_L - Comprimento médio de vida de um raio
        delta_L=media_vida

        % N - Número médio de raios
        N=numero_raios

        % Tau_d - Retardo Médio
        Tau_d=retardo_medio

        % Tau_0 - Espalhamento de Retardos
        Tau_0=espalhamento_retardos

        % Número de pontos do eixo x, número de bins(2133ns é o
retardo máximo da tese do Cristiano)
        npontos=retardo_maximo

        %Número de perfis
        perfis_max=numero_perfis

        Pr=0.0105 %Retirado do Ambiente 2, abrir para edição

    case 1
        % delta_L - Comprimento médio de vida de um raio, valor
estimado pelo ambiente de medidas
        delta_L=10;

        % N - Número médio de raios, este valor foi ajustado a tese do
Cristiano
        media_numero_A1(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor e o
ponto sem visada(2,4,5,6 e 7)
        media_numero_A1(2)=[];
        media_numero_A2(4:7)=[];
        media_numero_A2(2)=[];
        N_A1_A2=[media_numero_A1 media_numero_A2]

```

```

N=mean(N_A1_A2)

% Tau_d - Retardo Médio, este valor foi ajustado a tese do
Cristiano
media_taumedio_A1(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor e o
ponto sem visada(2,4,5,6 e 7)
media_taumedio_A1(2)=[];
media_taumedio_A2(4:7)=[];
media_taumedio_A2(2)=[];
Tau_d_A1_A2=[media_taumedio_A1 media_taumedio_A2]
Tau_d=mean(Tau_d_A1_A2)

% Tau_0 - Espalhamento de Retardo, este valor foi ajustado a
tese do Cristiano
media_desvio_A1(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor(2,4,5,6
e 7)
media_desvio_A1(2)=[];
media_desvio_A2(4:7)=[];
media_desvio_A2(2)=[];
Tau_0_A1_A2=[media_desvio_A1 media_desvio_A2]
Tau_0=mean(Tau_0_A1_A2)

desvio_med1=desvio_A1;
desvio_med1(4:7,:)=[];%Eliminando as linhas 2,4,5,6 e 7(são os
pontos outdoor)
desvio_med1(2,:)=[];
[d1_1,d1_2]=size(desvio_med1);%d1_1 e d1_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med1
desvio_med1=reshape(desvio_med1,1,d1_1*d1_2);
desvio_med2=desvio_A2;
desvio_med2(4:7,:)=[];%Eliminando as linhas 2,4,5,6 e 7(são os
pontos outdoor)
desvio_med2(2,:)=[];
[d2_1,d2_2]=size(desvio_med2);%d2_1 e d2_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med2
desvio_med2=reshape(desvio_med2,1,d2_1*d2_2);

desvio_med=[desvio_med1 desvio_med2];

% Pr - Potência média recebida, calculada através de Rappaport
utilizando os dados do Cristiano
media_Potencia_A1(4:7)=[];%Eliminando os pontos
outdoor(2,4,5,6 e 7)
media_Potencia_A1(2)=[];
media_Potencia_A2(4:7)=[];
media_Potencia_A2(2)=[];
Pr_A1_A2=[media_Potencia_A1 media_Potencia_A2]
Pr=mean(Pr_A1_A2)

npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
Cristiano)

perfis_max=500;

case 2
% delta_L - Comprimento médio de vida de um raio, valor
estimado pelo ambiente de medidas
delta_L=10;

```

```

        % N - Número médio de raios, este valor foi ajustado a tese do
        Cristiano
        media_numero_A3(3:6)=[];%Eliminando os pontos outdoor(3,4,5 e
6)
        media_numero_A4(3:6)=[];
        N_A3_A4=[media_numero_A3 media_numero_A4]
        N=mean(N_A3_A4)

        % Tau_d - Retardo Médio, este valor foi ajustado a tese do
        Cristiano
        media_taumedio_A3(3:6)=[];%Eliminando os pontos outdoor(3,4,5
e 6)
        media_taumedio_A4(3:6)=[];
        Tau_d_A3_A4=[media_taumedio_A3 media_taumedio_A4]
        Tau_d=mean(Tau_d_A3_A4)

        % Tau_0 - Espalhamento de Retardo, este valor foi ajustado a
        tese do Cristiano
        media_desvio_A3(3:6)=[];%Eliminando os pontos outdoor(3,4,5 e
6)
        media_desvio_A4(3:6)=[];
        Tau_0_A3_A4=[media_desvio_A3 media_desvio_A4]
        Tau_0=mean(Tau_0_A3_A4)

        desvio_med1=desvio_A3;
        desvio_med1(3:6,:)=[];%Eliminando as linhas 3,4,5 e 6(são os
        pontos outdoor)
        [d3_1,d3_2]=size(desvio_med1);%d3_1 e d3_2 representam
        respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med1
        desvio_med1=reshape(desvio_med1,1,d3_1*d3_2);
        desvio_med2=desvio_A4;
        desvio_med2(3:6,:)=[];%Eliminando as linhas 3,4,5 e 6(são os
        pontos outdoor)
        [d4_1,d4_2]=size(desvio_med2);%d4_1 e d4_2 representam
        respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med2
        desvio_med2=reshape(desvio_med2,1,d4_1*d4_2);

        desvio_med=[desvio_med1 desvio_med2];

        % Pr - Potência média recebida, calculada através de Rappaport
        utilizando os dados do Cristiano
        media_Potencia_A3(3:6)=[];%Eliminando os pontos outdoor(3,4,5
e 6)
        media_Potencia_A4(3:6)=[];
        Pr_A3_A4=[media_Potencia_A3 media_Potencia_A4]
        Pr=mean(Pr_A3_A4)

        npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
        esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
        Cristiano)

        perfis_max=500;

        case 3
            % delta_L - Comprimento médio de vida de um raio, valor
            estimado pelo ambiente de medidas
            delta_L=10;

            % N - Número médio de raios, este valor foi ajustado a tese do
            Cristiano

```

```

media_numero_A5(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor(4,5,6 e
7)
media_numero_A6(4:7)=[];
N_A5_A6=[media_numero_A5 media_numero_A6]
N=mean(N_A5_A6)

% Tau_d - Retardo Médio, este valor foi ajustado a tese do
Cristiano
media_taumedio_A5(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor(4,5,6
e 7)
media_taumedio_A6(4:7)=[];
Tau_d_A5_A6=[media_taumedio_A5 media_taumedio_A6]
Tau_d=mean(Tau_d_A5_A6)

% Tau_0 - Espalhamento de Retardo, este valor foi ajustado a
tese do Cristiano
media_desvio_A5(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor(4,5,6 e
7)
media_desvio_A6(4:7)=[];
Tau_0_A5_A6=[media_desvio_A5 media_desvio_A6]
Tau_0=mean(Tau_0_A5_A6)

desvio_med1=desvio_A5;
desvio_med1(4:7,:)=[];%Eliminando as linhas 4,5,6 e 7(são os
pontos outdoor)
[d5_1,d5_2]=size(desvio_med1);%d5_1 e d5_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med1
desvio_med1=reshape(desvio_med1,1,d5_1*d5_2);
desvio_med2=desvio_A2;
desvio_med2(4:7,:)=[];%Eliminando as linhas 4,5,6 e 7(são os
pontos outdoor)
[d6_1,d6_2]=size(desvio_med2);%d2_1 e d2_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med2
desvio_med2=reshape(desvio_med2,1,d6_1*d6_2);

desvio_med=[desvio_med1 desvio_med2];

% Pr - Potência média recebida, calculada através de Rappaport
utilizando os dados do Cristiano
media_Potencia_A5(4:7)=[];%Eliminando os pontos outdoor(4,5,6
e 7)
media_Potencia_A6(4:7)=[];
Pr_A5_A6=[media_Potencia_A5 media_Potencia_A6]
Pr=mean(Pr_A5_A6)

npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
Cristiano)

perfis_max=500;

case 4
% delta_L - Comprimento médio de vida de um raio, valor
estimado pelo ambiente de medidas
delta_L=10;

% N - Número médio de raios, este valor foi ajustado a tese do
% Cristiano

```

```

N_A1_A2=[media_numero_A1 media_numero_A2]
N=mean(N_A1_A2)

% Tau_d - Retardo Médio, este valor foi ajustado a tese do
% Cristiano
Tau_d_A1_A2=[media_taumedio_A1 media_taumedio_A2]
Tau_d=mean(Tau_d_A1_A2)

% Tau_0 - Espalhamento de Retardo, este valor foi ajustado a
tese
% do Cristiano
Tau_0_A1_A2=[media_desvio_A1 media_desvio_A2]
Tau_0=mean(Tau_0_A1_A2)

desvio_med1=desvio_A1;
[d1_1,d1_2]=size(desvio_med1);%d1_1 e d1_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med1
desvio_med1=reshape(desvio_med1,1,d1_1*d1_2);
desvio_med2=desvio_A2;
[d2_1,d2_2]=size(desvio_med2);%d2_1 e d2_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med2
desvio_med2=reshape(desvio_med2,1,d2_1*d2_2);

desvio_med=[desvio_med1 desvio_med2];

% Pr - Potência média recebida, calculada através de Rappaport
% utilizando os dados do Cristiano
Pr_A1_A2=[media_Potencia_A1 media_Potencia_A2]
Pr=mean(Pr_A1_A2)

npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
Cristiano)

perfis_max=500;

case 5

% delta_L - Comprimento médio de vida de um raio, valor
estimado pelo ambiente de medidas
delta_L=10;

% N - Número médio de raios, este valor foi ajustado a tese do
% Cristiano
N_A3_A4=[media_numero_A3 media_numero_A4]
N=mean(N_A3_A4)

% Tau_d - Retardo Médio, este valor foi ajustado a tese do
% Cristiano
Tau_d_A3_A4=[media_taumedio_A3 media_taumedio_A4]
Tau_d=mean(Tau_d_A3_A4)

% Tau_0 - Espalhamento de Retardo, este valor foi ajustado a
tese
% do Cristiano
Tau_0_A3_A4=[media_desvio_A3 media_desvio_A4]
Tau_0=mean(Tau_0_A3_A4)

desvio_med1=desvio_A3;

```

```

[d3_1,d3_2]=size(desvio_med1);%d3_1 e d3_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med1
desvio_med1=reshape(desvio_med1,1,d3_1*d3_2);
desvio_med2=desvio_A4;
[d4_1,d4_2]=size(desvio_med2);%d4_1 e d4_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med2
desvio_med2=reshape(desvio_med2,1,d4_1*d4_2);

desvio_med=[desvio_med1 desvio_med2];

% Pr - Potência média recebida, calculada através de Rappaport
% utilizando os dados do Cristiano
Pr_A3_A4=[media_Potencia_A3 media_Potencia_A4]
Pr=mean(Pr_A3_A4)

npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
Cristiano)

perfis_max=500;

case 6

% delta_L - Comprimento médio de vida de um raio, valor
estimado pelo ambiente de medidas
delta_L=10;

% N - Número médio de raios, este valor foi ajustado a tese do
% Cristiano
N_A5_A6=[media_numero_A5 media_numero_A6]
N=mean(N_A5_A6)

% Tau_d - Retardo Médio, este valor foi ajustado a tese do
% Cristiano
Tau_d_A5_A6=[media_taumedio_A5 media_taumedio_A6]
Tau_d=mean(Tau_d_A5_A6)

% Tau_0 - Espalhamento de Retardo, este valor foi ajustado a
tese
% do Cristiano
Tau_0_A5_A6=[media_desvio_A5 media_desvio_A6]
Tau_0=mean(Tau_0_A5_A6)

desvio_med1=desvio_A5;
[d5_1,d5_2]=size(desvio_med1);%d5_1 e d5_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med1
desvio_med1=reshape(desvio_med1,1,d5_1*d5_2);
desvio_med2=desvio_A2;
[d6_1,d6_2]=size(desvio_med2);%d6_1 e d6_2 representam
respectivamente o número de linhas e colunas da matriz desvio_med2
desvio_med2=reshape(desvio_med2,1,d6_1*d6_2);

desvio_med=[desvio_med1 desvio_med2];

% Pr - Potência média recebida, calculada através de Rappaport
% utilizando os dados do Cristiano
Pr_A5_A6=[media_Potencia_A5 media_Potencia_A6]
Pr=mean(Pr_A5_A6)

```

```

        npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
        esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
        Cristiano)

        perfis_max=500;

    end

    else

        % delta_L - Comprimento médio de vida de um raio
        delta_L=10;

        % N - Número médio de raios
        N=numero_dig;

        % Tau_d - Retardo Médio
        Tau_d=taumedio_dig;

        % Tau_0 - Espalhamento de Retardos
        Tau_0=desvio_dig;

        % Pr - Potência média recebida
        Pr=dlmread('Potencia.txt');
        Pr=mean(Pr);

        npontos=2133; % Número de pontos do eixo x, número de bins,
        esse valor deve ser ajustado (2133ns é o retardo máximo da tese do
        Cristiano)

        perfis_max=500;

        %dados_medidos;
        desvio_med1=dlmread('desvio.txt');

        desvio_med2=dlmread('desvio.txt');

        desvio_med=dlmread('desvio.txt');

    end

    Tau_p=(Tau_d*Tau_0)/(Tau_d-Tau_0); % Retardo quando a potência se
    torna 1/e

    %pause
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%%

    inc=1;
    num_perfis=0;
    k9=0;
    while num_perfis<perfis_max
        k9=k9+1;
        num_perfis=num_perfis+inc
        %num_perfis=input('--> Entre com o número de perfis que deve ser
        gerado:');

```



```

kk=num_perfis

% Calculando o número de multipercursos

n = poissrnd(N,1,1); % Esta função gera número aleatório n de uma
distribuição de Poisson com média=N
nv(kk) = n; % Salvando todos os números de multipercursos em um vetor
% Calculando a separação espacial entre dois raios consecutivos (lg)

% Para Gerar uma variável aleatória com função densidade de
probabilidade
% exponencial foi utilizado o Método proposto por Leon-Garcia

MU_lg=delta_L/N;
lg = -MU_lg.*log(rand(n,1));
Soma_lg(kk)=round(sum(lg)+20);

% Calculando o período de sobrevivência de cada raio (ld)

% Calculado utilizando também o Método proposto por Leon-Garcia

MU_ld=delta_L;
ld = -MU_ld.*log(rand(n,1));

% Calculando o Retardo

pd = exprnd(Tau_d,n,1);
for i=1:n
    pdv(kk,i) = pd(i);
end

% Calculando a Potência para cada raio

alfa=(Tau_p+Tau_d)/Tau_p;

Potencia=2;
%Potencia=1 calcula como uma fdp (para teste)
%Potencia=2 calcula como uma função

switch Potencia

    case 1
        Pi=((alfa*Pr*Tau_p)/N)*exprnd(Tau_p,n,1);
        Pi1=Pi;
        Pi2=sort(Pi1); %Esta função organiza em ordem crescente o
vetor
        k2=n;
        for k1=1:n
            Pi1(k1)=Pi2(k2); %Colocando o vetor em ordem decrescente
            k2=k2-1;
        end
        Pi=Pi1;
        for i=1:n
            Piv(kk,i) = Pi(i);
        end

```

```

    case 2 %neste caso o vetor retardos é organizado
        %pd=sort(pd);
        for ki=1:n
            Pi(ki)=((alfa*Pr)/N)*exp(-(pd(ki)/Tau_p));
        end
        for i=1:n
            Piv(kk,i) = Pi(i);
        end
    end

end

% Calculando o perfil de retardos

for ki=1:npontos
    p(kk,ki)=0;
end

for ki=1:n
    x_ki=round(1+pd(ki));
    p(kk,x_ki)=log10((Pr/Tau_0)*exp(-(pd(ki)/Tau_0)))+5;%+5 para
melhorar o gráfico
end

%pause(0.3)

% Resposta ao Impulso

ri=zeros(n,npontos); % Preenchendo a matriz ri com zeros

x_min=1;

Opc=3;
%Opc=1, calcula a resposta ao impulso com a amplitude variando de
forma senoidal (para teste)
%Opc=2, calcula a resposta ao impulso com a amplitude apenas com
valores máximos (para teste)
%Opc=3, calcula o perfil de retardos sem levar em conta o parâmetro lg

switch Opc
    case 1
        for ki=1:n
            x_max=round(x_min+ld(ki));
            for px=x_min:x_max
                ri(ki,px)=sqrt(2*Pi(ki))*sin((pi/ld(ki))*(px-(x_min-
1)));
            end
            x_min=round(x_min+lg(ki));
        end
    case 2
        for ki=1:n
            x_max=round(x_min+ld(ki));
            ri(ki,x_max)=sqrt(2*Pi(ki));
            x_min=round(x_min+lg(ki));
        end
    case 3

```

```

        x_max=1;
        for ki=1:n
            x_max=round(x_max+pd(ki));
            ri(ki,x_max)=sqrt(2*Pi(ki));
        end
    end

    for k5=1:npontos
        Soma_ri(k5)=0;
    end

    for k3=1:npontos
        for k4=1:n
            Soma_ri(k3)=Soma_ri(k3)+ri(k4,k3);
        end
    end

    Soma_total(kk,:)=Soma_ri;

    Soma_1000(kk,1:1001)=Soma_total(kk,1:1001);

    p_total(kk,:)=p(kk,:);

    p_1000(kk,1:101)=p_total(kk,1:101);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Calculando os parametros simulados
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    % Número médio de multipercursos

    n_calc = mean(nv) %Média dos números de multipercursos gerados para
    cada peril

    % Retardo Médio

    k1=num_perfis
    soma1(k1)=0;
    soma2(k1)=0;
    for k2=1:nv(k1)
        soma1(k1) = soma1(k1) + pdv(k1,k2).*Piv(k1,k2); %Somatório dos
retardos e potência de cada multipercurso
        soma2(k1) = soma2(k1) + (Piv(k1,k2)); % Somatório da potencia
de cada multipercurso
    end
    pd_calc1(k1)=soma1(k1)./soma2(k1); % Calculo do retardo médio de
um perfil

    pd_calc(k9) = mean(pd_calc1); % Calculo da média dos retardos médios
de todos os perfis

    %Espalhamento de Retardo

    k3=num_perfis
    soma3(k3)=0;
    for k4=1:nv(k1)

```

```

        soma3(k3) = soma3(k3) + ((pdv(k3,k4)-
pd_calcl(k3)).^2).*(Piv(k3,k4)); %Numerador da fórmula do espalhamento
de retardo
    end
    desvio_calcl(k3)=sqrt(soma3(k3)./soma2(k3)); % Calculo do
    espalhamento de retardos para um perfil

desvio_calc(k9) = mean(desvio_calcl); % Calculo da média do
    espalhamento de retardos de todos os pefis
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
end %final do loop iniciado com o while
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Gráficos%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Histograma do Espalhamento de Retardos
[a_hist,b_hist]=hist(desvio_calcl,100);
%a_hist é um vetor, a quantidade de elementos desse vetor é igual ao
número de subintervalos (neste caso 100) e cada elemento de a_hist
representa o número de ocorrências dentro do subintervalo
%b_hist é um vetor onde o valor de cada elemento representa a
localização
%do centro do subintervalo correspondente
c_hist=a_hist/length(desvio_calcl); % c_hist é um vetor com a
probabilidade de ocorrência dentro de um determinado subintervalo

if k_box1==1
figure(1)
bar(b_hist,c_hist),zoom on, grid on %plotando o histograma
%title('Histograma - Espalhamento de Retardos','FontSize',10)
xlabel('Espalhamento de Retardos','FontSize',10)
ylabel('Probabilidade','FontSize',10)
end

d_hist=c_hist;
%for i=1:length(d_hist)
%    if d_hist(1,i)~=0;
%        e_hist=b_hist(i);
%        f_hist=d_hist(i);
%    end
%    g_hist(i)=e_hist;
%    h_hist(i)=f_hist;
%end
%h1_hist=h_hist./sum(h_hist); %Para que a soma das probabilidades
seja igual a 1 [sum(h1_hist=1)]
%figure(2)
%plot(g_hist,h_hist),zoom on, grid on;
%title('Função Densidade de Probabilidade - Espalhamento de
Retardos','FontSize',12)
%xlabel('Espalhamento de Retardos','FontSize',10)
%ylabel('Probabilidade','FontSize',10)

```

```

%Gráfico para os valores medidos

if ambiente==0

else
[a_hist_med1,b_hist_med1]=hist(desvio_med1,100); %desvio_med são os
valores de espalhamento de retardo retirados da planilha do Cristiano
c_hist_med1=a_hist_med1/length(desvio_med1);
d_hist_med1=c_hist_med1;
fda_c_hist_med1(1)=c_hist_med1(1);
for i=2:length(c_hist_med1)
    fda_c_hist_med1(i)=fda_c_hist_med1(i-1)+c_hist_med1(i);
end
[a_hist_med2,b_hist_med2]=hist(desvio_med2,100); %desvio_med são os
valores de espalhamento de retardo retirados da planilha do Cristiano
c_hist_med2=a_hist_med2/length(desvio_med2);
d_hist_med2=c_hist_med2;
fda_c_hist_med2(1)=c_hist_med2(1);
for i=2:length(c_hist_med2)
    fda_c_hist_med2(i)=fda_c_hist_med2(i-1)+c_hist_med2(i);
end

[a_hist_med,b_hist_med]=hist(desvio_med,100); %desvio_med são os
valores de espalhamento de retardo retirados da planilha do Cristiano
c_hist_med=a_hist_med/length(desvio_med);
d_hist_med=c_hist_med;
fda_c_hist_med(1)=c_hist_med(1);
for i=2:length(c_hist_med)
    fda_c_hist_med(i)=fda_c_hist_med(i-1)+c_hist_med(i);
end

if k_box2==1
figure(3)
plot(b_hist,d_hist),zoom on, grid on;
%title('Função Densidade de Probabilidade - Espalhamento de
Retardos','FontSize',12)
xlabel('Espalhamento de Retardos','FontSize',10)
ylabel('Probabilidade','FontSize',10)
end

end

if ambiente==0

else
%Função Distribuição de Probabilidade
fda_c_hist(1)=c_hist(1);
for i=2:length(c_hist)
    fda_c_hist(i)=fda_c_hist(i-1)+c_hist(i);
end
if k_box3==1
figure(4)
plot(b_hist,fda_c_hist,'-r','linewidth',3),zoom on, grid on;
hold on
plot(b_hist_med1,fda_c_hist_med1,'--b','linewidth',3),zoom on;
hold on
plot(b_hist_med2,fda_c_hist_med2,'--g','linewidth',3), zoom on;
title('Função Distribuição de Probabilidade - Espalhamento de
Retardos','FontSize',12)

```

```

xlabel('Espalhamento de Retardos','FontSize',14)
ylabel('Probabilidade','FontSize',14)
legend('Simulado','Medido Tx Fixo','Medido Rx Fixo',1)
hold off

figure(5)
plot(b_hist_med,fda_c_hist_med,'--b','linewidth',3),zoom on, grid on;
hold on
plot(b_hist,fda_c_hist,'-r','linewidth',3),zoom on;
%title('Função Distribuição de Probabilidade - Espalhamento de
Retardos','FontSize',12)
xlabel('Espalhamento de Retardos')
ylabel('Probabilidade')
legend('Medido','Simulado',1)
hold off
end
end
%Histograma do Retardo Médio
%[a_hist,b_hist]=hist(pd_calc1,100);
%c_hist=a_hist/length(pd_calc1);
%figure(2)
%bar(b_hist,c_hist)
%grid

%Plotando o perfil de retardos (para teste)
%X=[0:1:npontos-1];
%figure(1)
%plot(X,Soma_ri),title('Função de transferência nos
retardos'),xlabel('Retardo'),ylabel('h(t)'),zoom on,grid on
%figure(2)
%plot(X,Am),ylabel('Am')
%for kk=1:num_perfis
%X2=[0:1:Soma_lg(kk)-1];
%Soma_ri2=Soma_total(kk,1:Soma_lg(kk));
%figure(kk)
%plot(X2,Soma_ri2),zoom on,grid on
%end

%Plotando o gráfico TempoxRetardo

retardo=[0:1:100]; %retardo=[0:1:1000] para Soma_1000

tempo=[0:1:num_perfis-1];

%mesh(retardo,tempo,Soma_1000(:,:)),view(20,20),xlabel('retardo-
nanosseg'),ylabel('tempo-nanosseg'),zlabel(''),zoom on,grid on

%mesh(retardo,tempo,p_1000(:,:)),view(20,20),xlabel('retardo-
nanosseg'),ylabel('tempo-nanosseg'),zlabel(''),zoom on,grid on

%Plotando o gráfico Espalhamento de retardos x número de perfis
simulados
if k_box4==1
XX=[inc:inc:perfis_max];
for ki=1:perfis_max
YY(ki)=Tau_0;

```

```

        WW(ki)=1.01*Tau_0;
        ZZ(ki)=0.99*Tau_0;
    end
    figure(6)
    plot(XX,desvio_calc,'-r','LineWidth',2),xlabel('Número de Perfis Simulados'),ylabel('Espalhamento de Retardos'),zoom on
    hold on
    plot (XX,YY,'--b','LineWidth',2)
    hold on
    plot (XX,ZZ,'b',XX,WW,'b')
    legend('Simulado','Medido','99% do Valor Medido',4)
    hold off
end

%Plotando o gráfico Retardo Médio x número de perfis simulados
%figure(2)
%plot(XX,pd_calc)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Gráfico intervalo de confiança 95%
teste_ci=sort(desvio_calcl);
posinf95=round(perfis_max*0.025);
ci_inf95=teste_ci(posinf95);
possup95=round(perfis_max*0.975);
ci_sup95=teste_ci(possup95);
figure(7)
%plot(ci_inf95,1,'<b','markersize',12,ci_sup95,1,'>b','markersize',12,
mean(desvio_calcl),1,'hy','markersize',14,desvio_med,1,'.r','markersize',10)
plot(ci_inf95,local,'<b',ci_sup95,local,'>b','MarkerFaceColor','b','markersize',8),hold on
plot(mean(desvio_med),local,'Or','markersize',8,'MarkerFaceColor','r'), hold on
plot(mean(desvio_calcl),local,'hb','markersize',10,'MarkerFaceColor','b')
plot(desvio_med,local,'.g','markersize',16), hold on
plot(ci_inf95,local,'<b',ci_sup95,local,'>b','MarkerFaceColor','b','markersize',12),hold on
plot(mean(desvio_med),local,'Or','markersize',12,'MarkerFaceColor','r','MarkerEdgeColor','k'), hold on
plot(mean(desvio_calcl),local,'hb','markersize',16,'MarkerFaceColor','b','MarkerEdgeColor','k')
%plot(desvio_med,1,'.g','markersize',14), hold on
legend('Intervalo de Confiança 95%','Intervalo de Confiança 95%','Valor Médio - Medidas','Valor Médio - Simulado','Medidas')
xlabel('espalhamento de retardos(ns)')
set(gca,'YTick',[local])

```

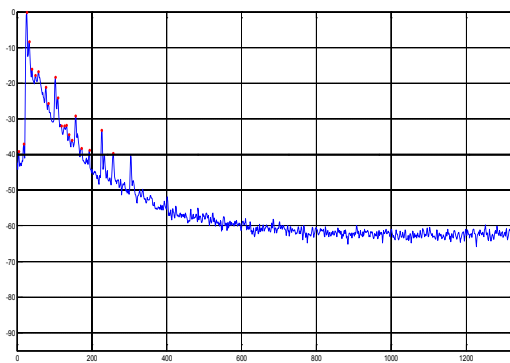
APÊNDICE II – Ambientes A3 a A6

A.1 Ambiente A3

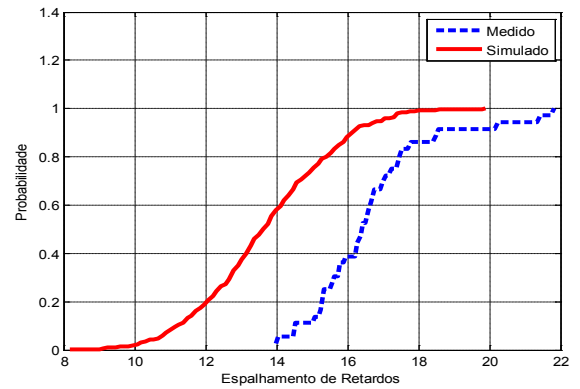
Continuando a apresentação de resultados das simulações com a técnica GDR, apresentamos neste apêndice, os gráficos dos ambientes A3 a A6. Os resultados do ambiente A3, ilustrado no Capítulo 4, são apresentados a seguir. Este ambiente corresponde ao 3º andar do bloco D do prédio de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Neste ambiente, o transmissor foi mantido fixo e o receptor deslocado para os seis pontos de medidas.

Ambiente				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Locais	A3	<i>Indoor</i>	1	14	31	20
			2	12	18	11
		<i>Indoor-outdoor</i>	3	9	23	25
			4	10	34	16
			5	10	47	27
			6	18	84	19

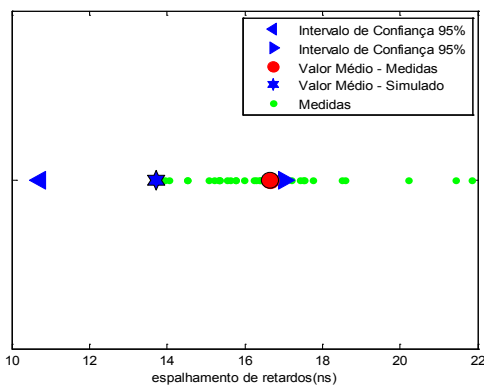
Tabela A.1 Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A3



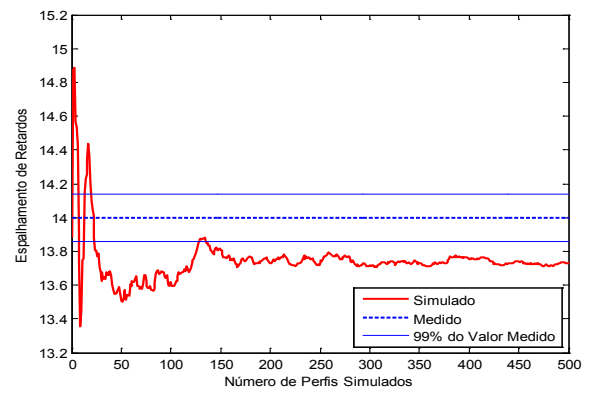
(a)



(b)

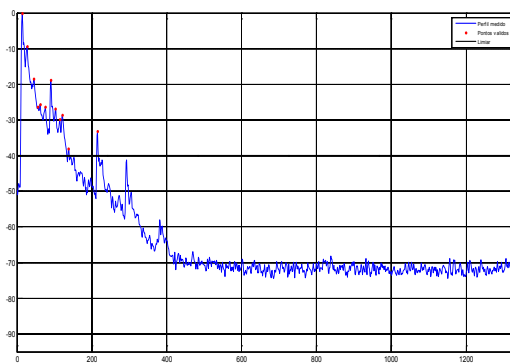


(c)

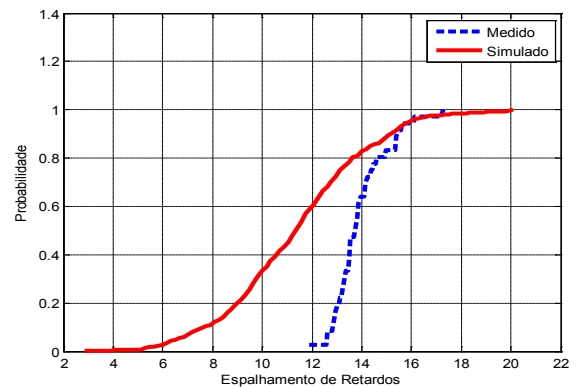


(d)

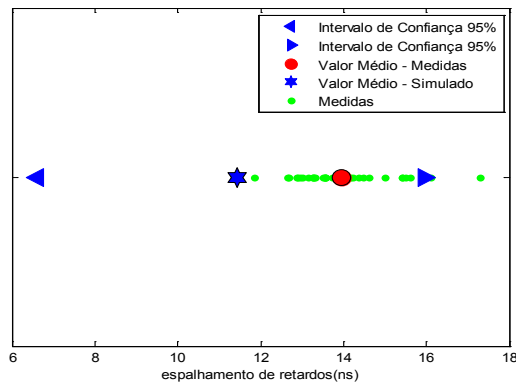
Figura A.1 Gráficos do Local 1 do Ambiente A3: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



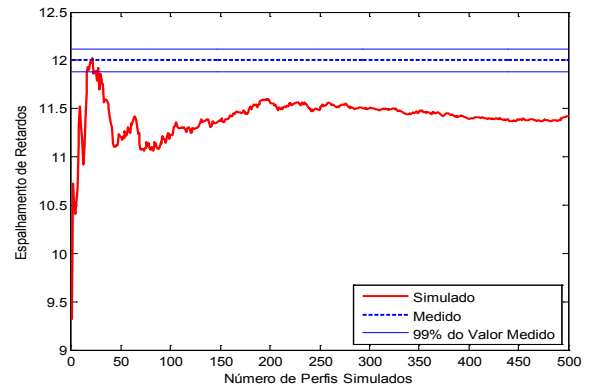
(a)



(b)

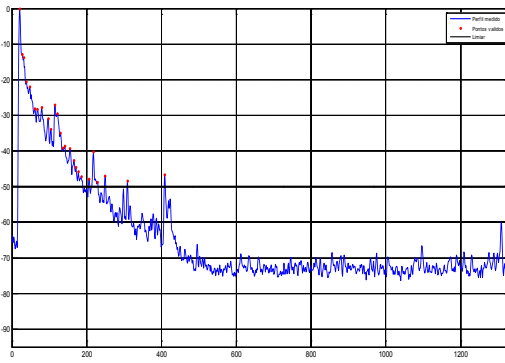


(c)

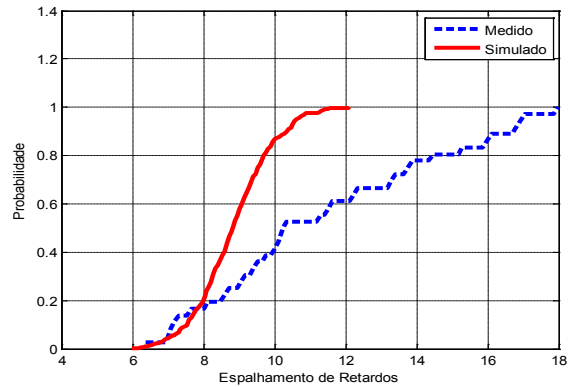


(d)

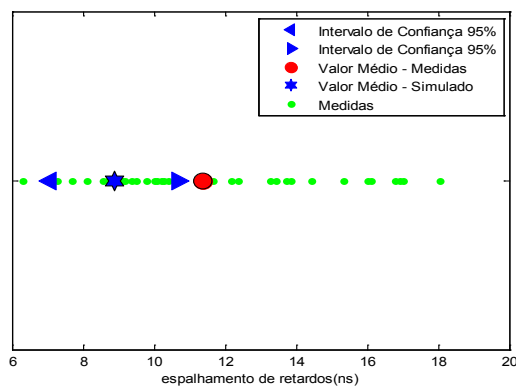
Figura A.2 Gráficos do Local 2 do Ambiente A3: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



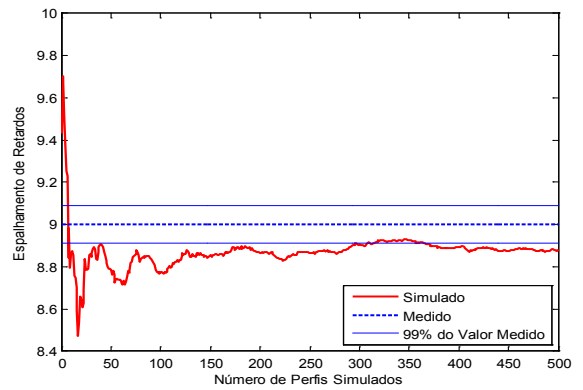
(a)



(b)

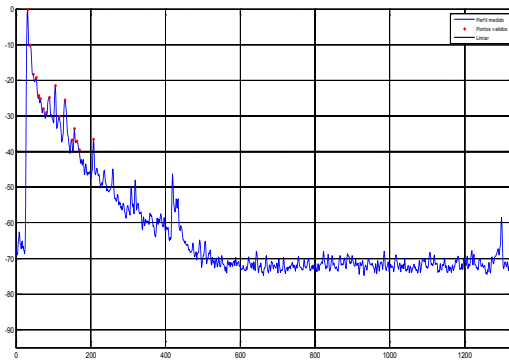


(c)

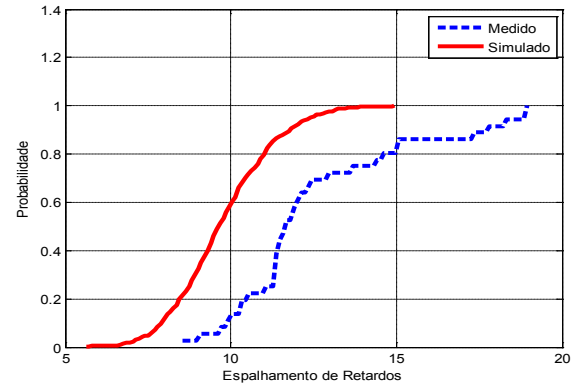


(d)

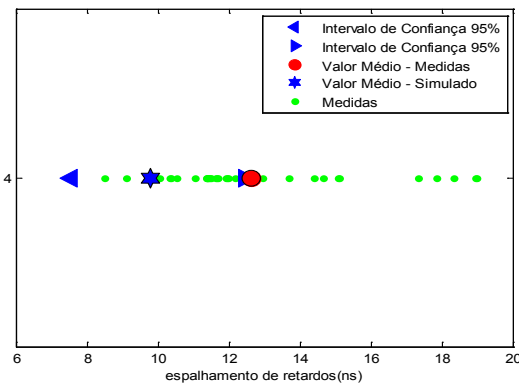
Figura A.3 Gráficos do Local 3 do Ambiente A3: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



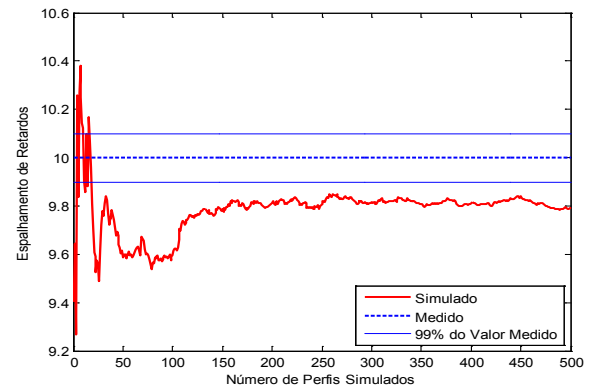
(a)



(b)

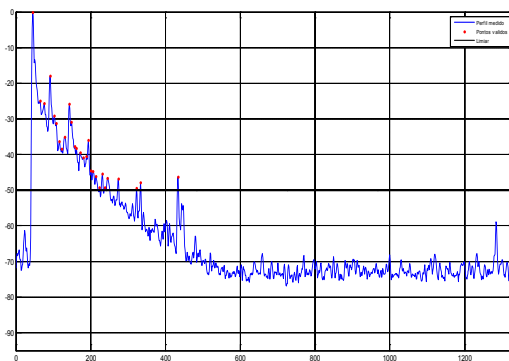


(c)

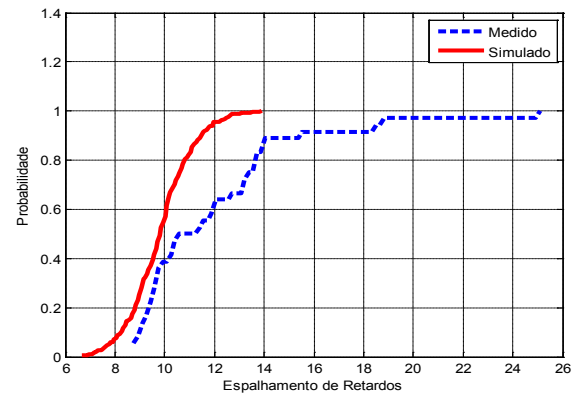


(d)

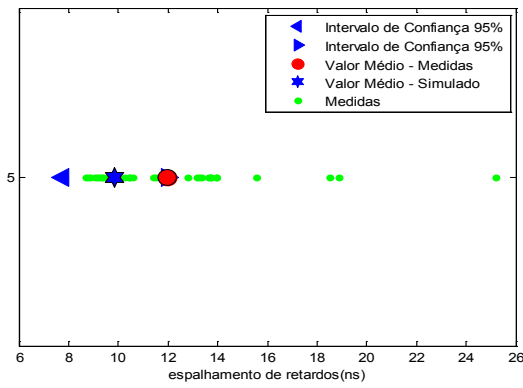
Figura A.4 Gráficos do Local 4 do Ambiente A3: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



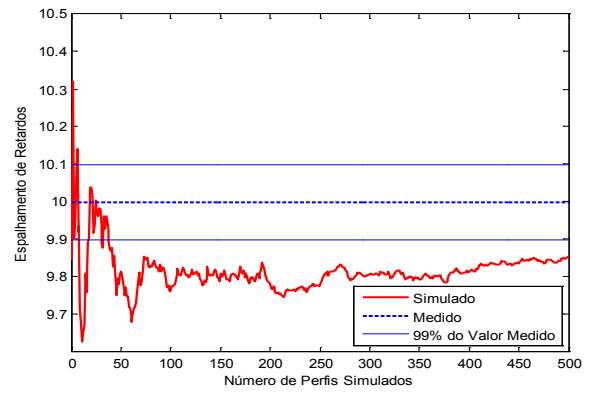
(a)



(b)

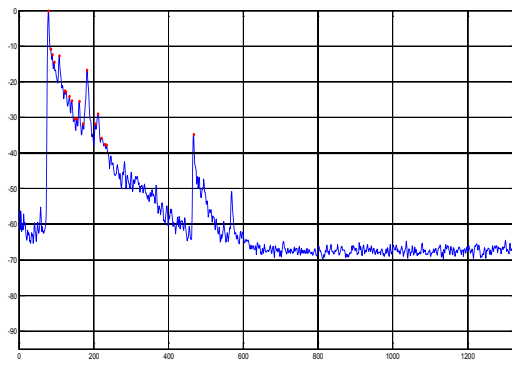


(c)

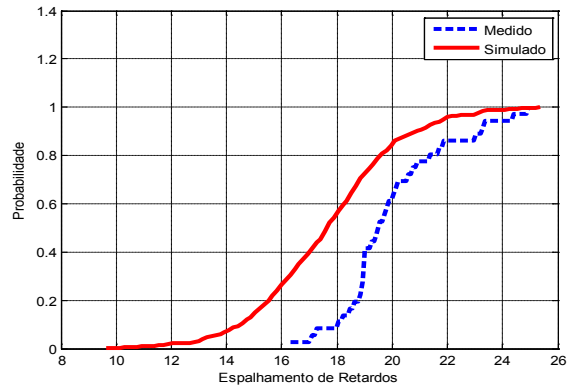


(d)

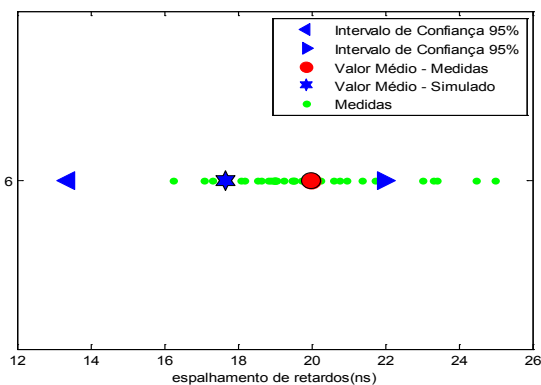
Figura A.5 Gráficos do Local 5 do Ambiente A3: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



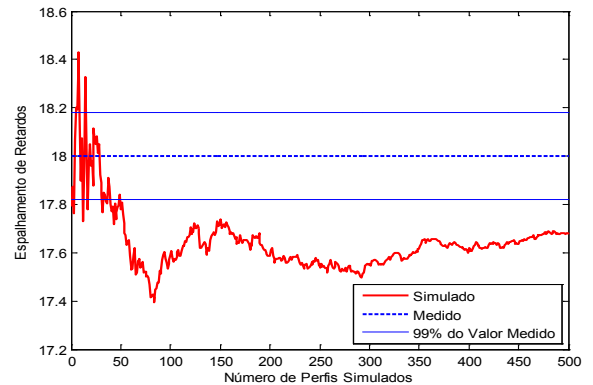
(a)



(b)



(c)



(d)

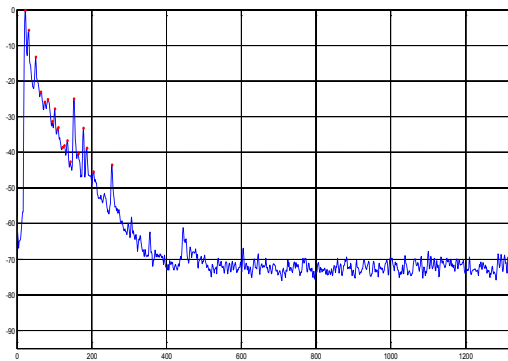
Figura A.6 Gráficos do Local 6 do Ambiente A3: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados

A.2 Ambiente A4

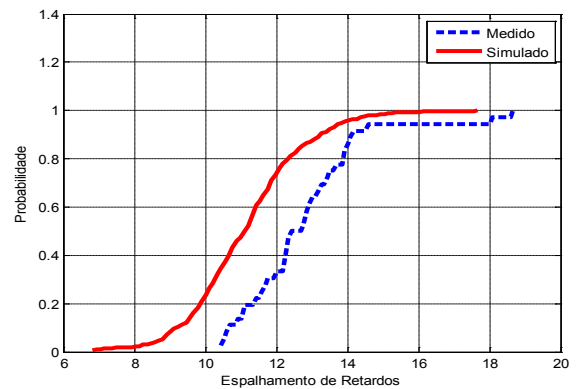
Os resultados do ambiente A4, descrito no Capítulo 4, são apresentados a seguir. Este ambiente corresponde ao 3º andar do bloco D do prédio de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Este ambiente difere do ambiente A3, pois, neste caso, o receptor foi mantido fixo e o transmissor deslocado para os seis pontos de medidas.

Ambiente				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Locais	A4	<i>Indoor</i>	1	11	27	19
			2	11	17	21
		<i>Indoor-outdoor</i>	3	9	22	21
			4	11	31	25
			5	11	46	24
			6	22	83	20

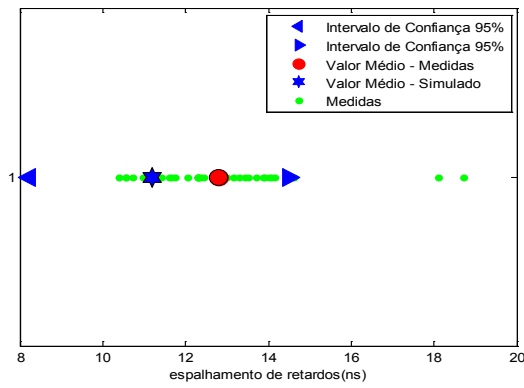
Tabela A.2 Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A4



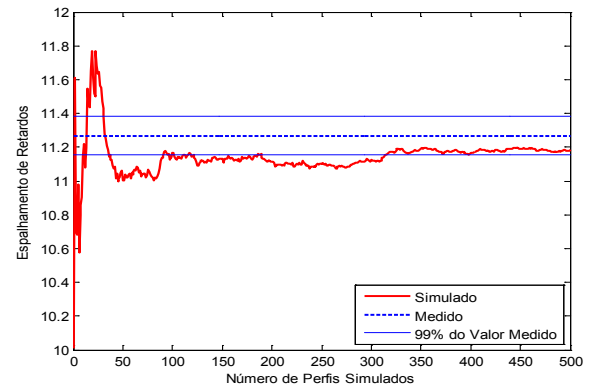
(a)



(b)

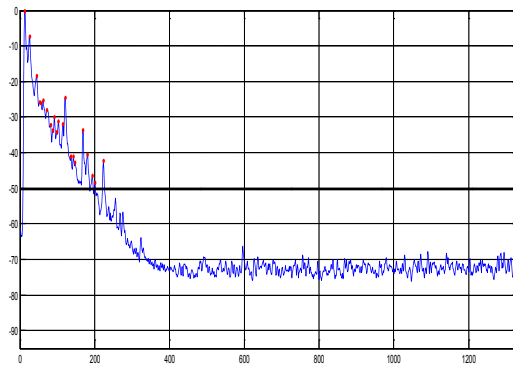


(c)

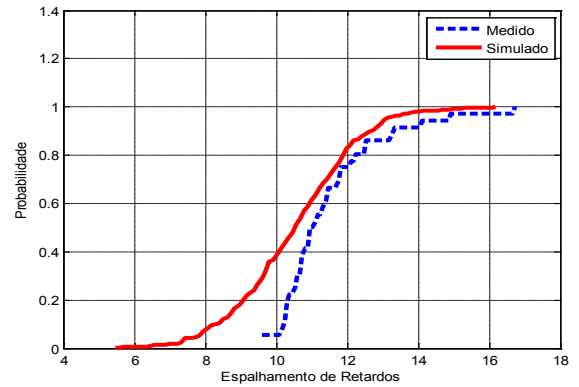


(d)

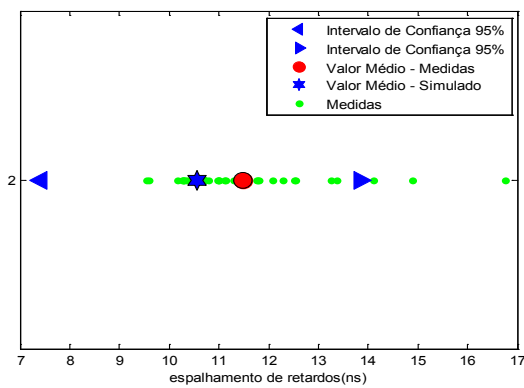
Figura A.7 Gráficos do Local 1 do Ambiente A4: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



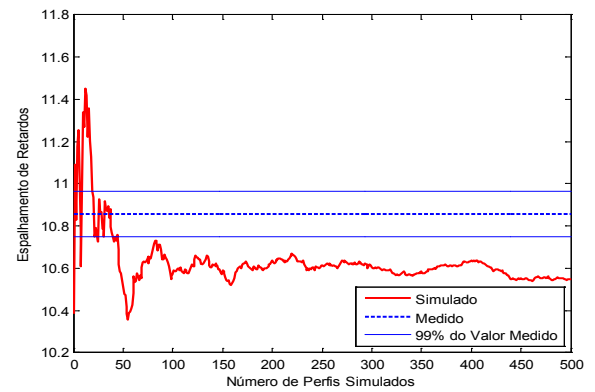
(a)



(b)

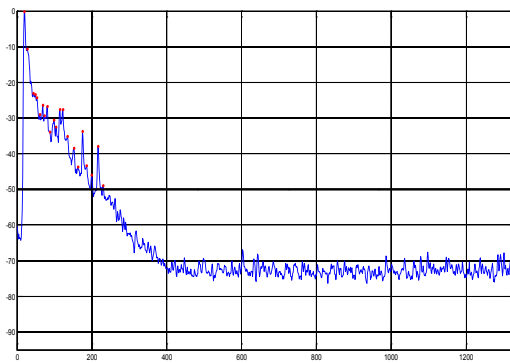


(c)

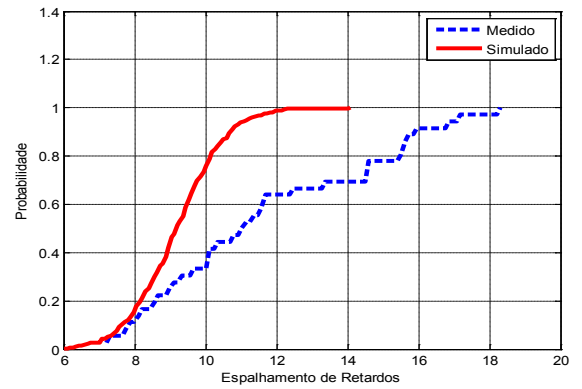


(d)

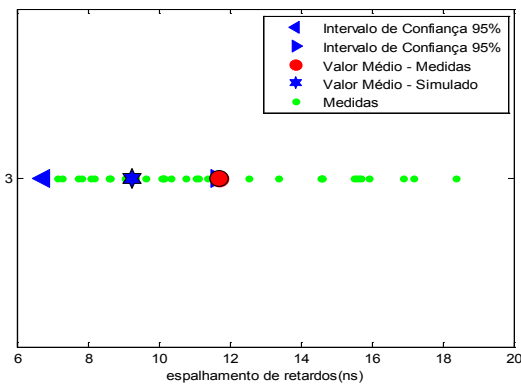
Figura A.8 Gráficos do Local 2 do Ambiente A4: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



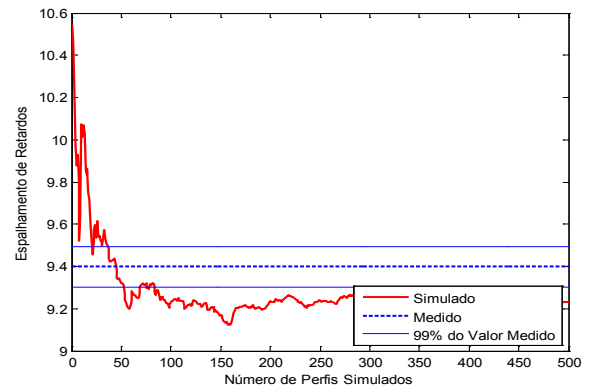
(a)



(b)

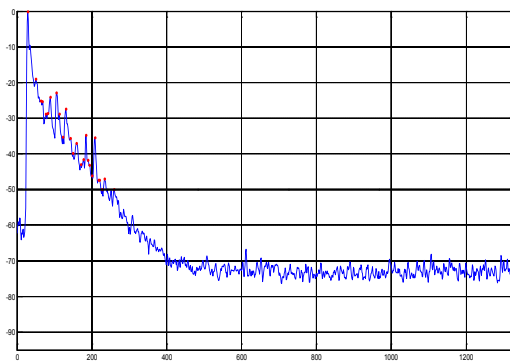


(c)

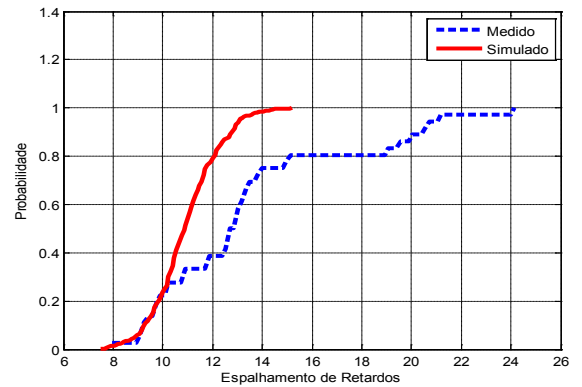


(d)

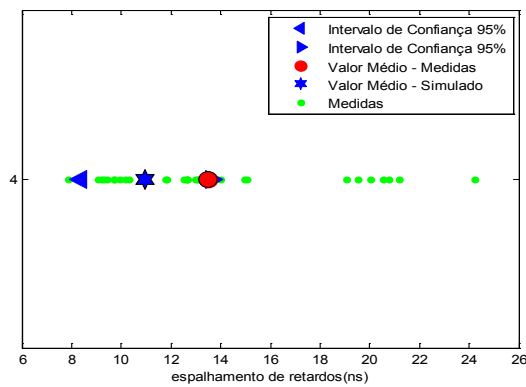
Figura A.9 Gráficos do Local 3 do Ambiente A4: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



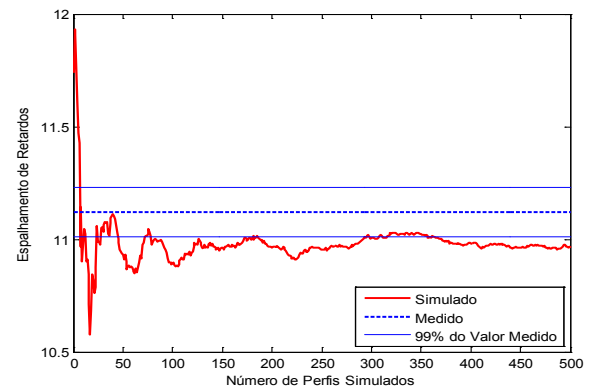
(a)



(b)

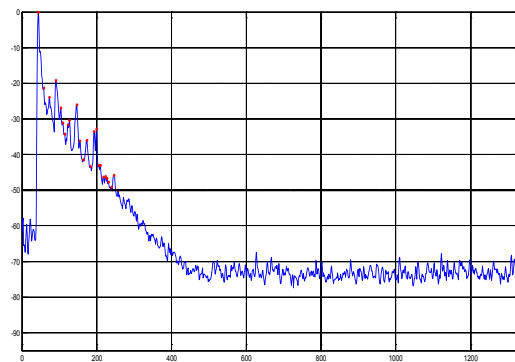


(c)

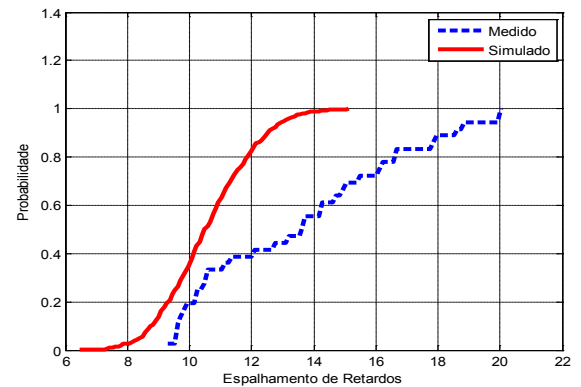


(d)

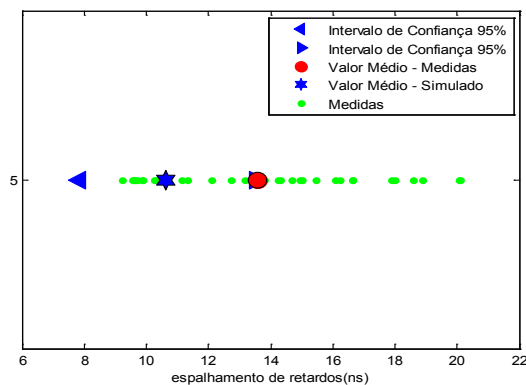
Figura A.10 Gráficos do Local 4 do Ambiente A4: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



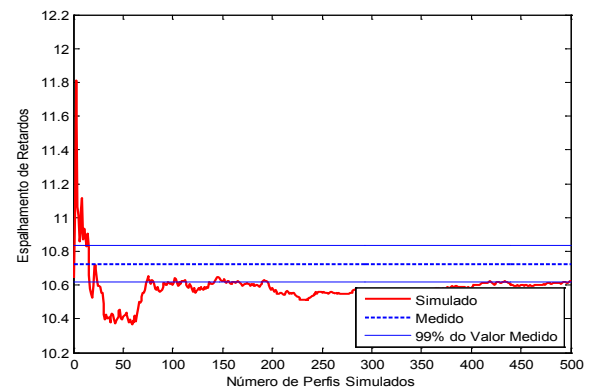
(a)



(b)

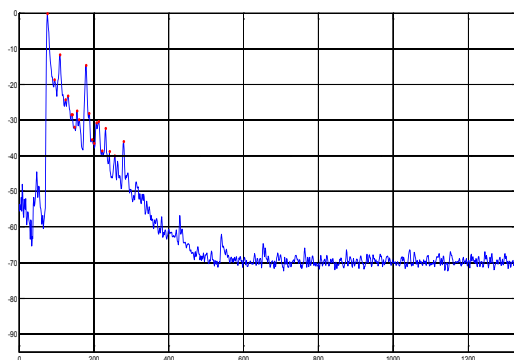


(c)

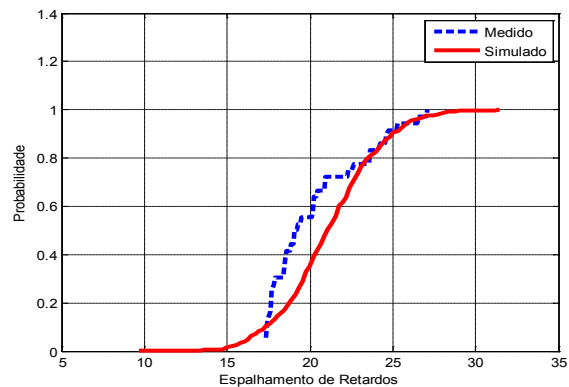


(d)

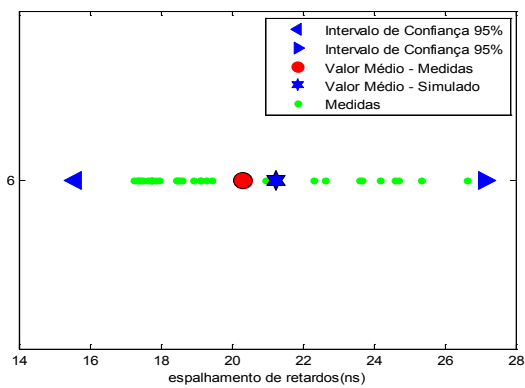
Figura A.11 Gráficos do Local 5 do Ambiente A4: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



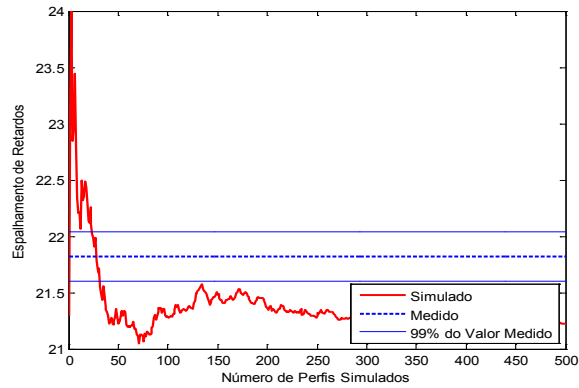
(a)



(b)



(c)



(d)

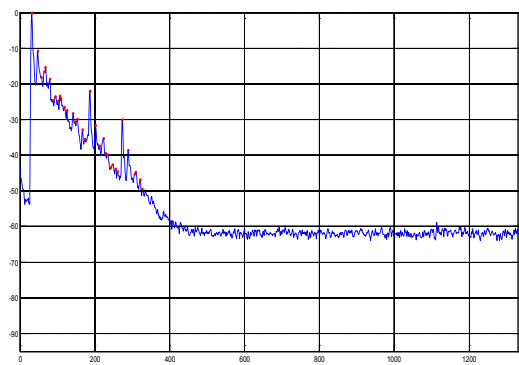
Figura A.12 Gráficos do Local 6 do Ambiente A4: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados

A.3 Ambiente A5

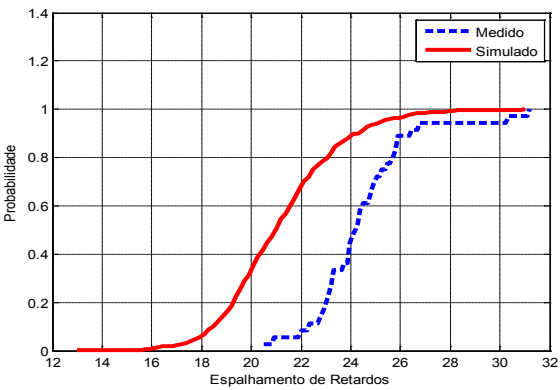
Os resultados do ambiente A5, descrito no Capítulo 4, são apresentados a seguir. Este ambiente corresponde ao *hall* do prédio de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Neste ambiente, o transmissor foi mantido fixo e o receptor deslocado para os seis pontos de medidas.

Ambiente				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Locais	A5	Indoor	1	21	39	34
			2	23	28	32
			3	19	23	19
		Indoor-outdoor	4	22	34	20
			5	25	37	27
			6	31	49	37

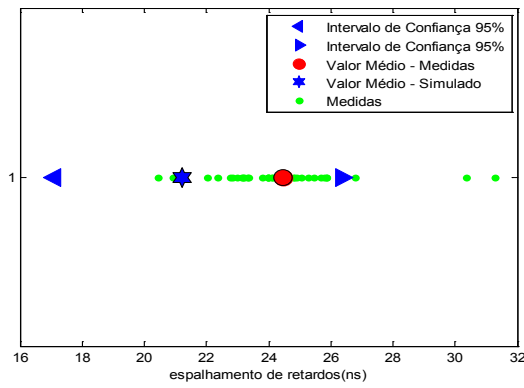
Tabela A.3 Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A5



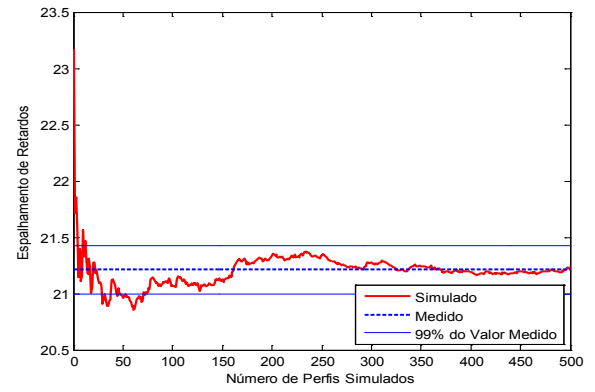
(a)



(b)

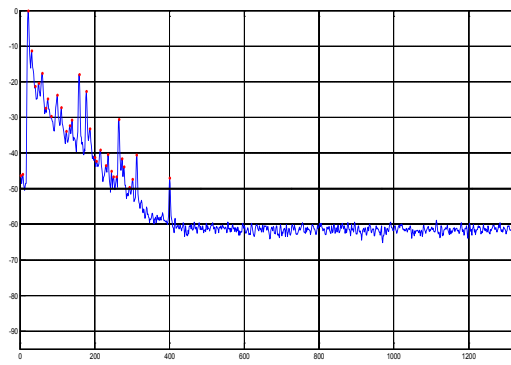


(c)

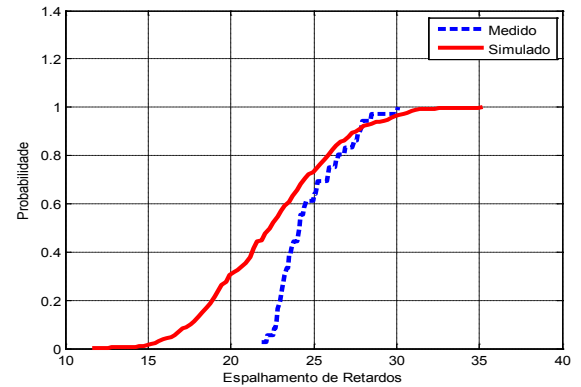


(d)

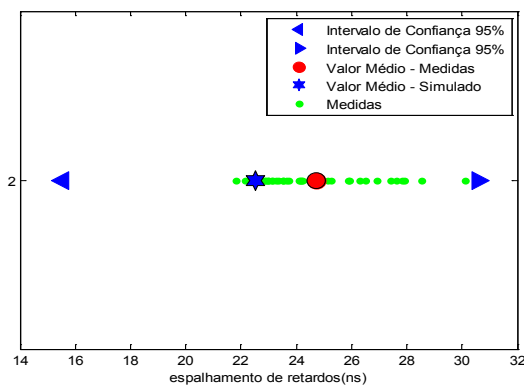
Figura A.13 Gráficos do Local 1 do Ambiente A5: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



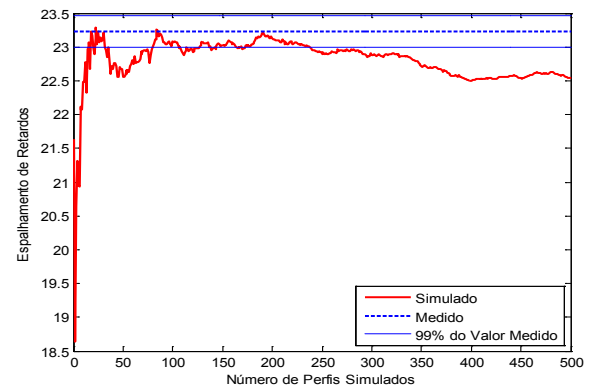
(a)



(b)

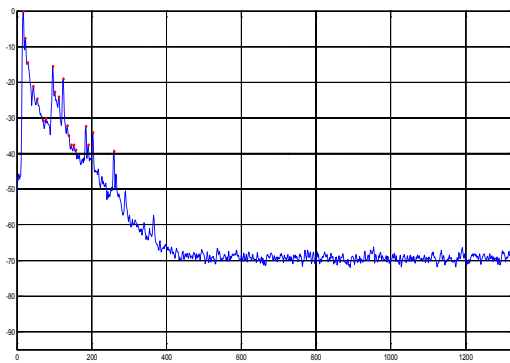


(c)

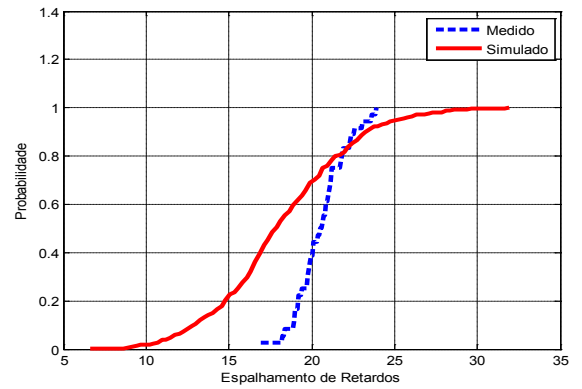


(d)

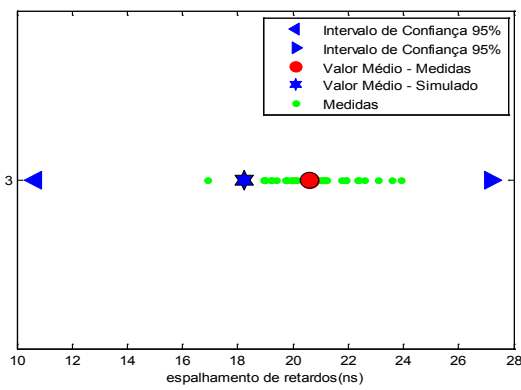
Figura A.14 Gráficos do Local 2 do Ambiente A5: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



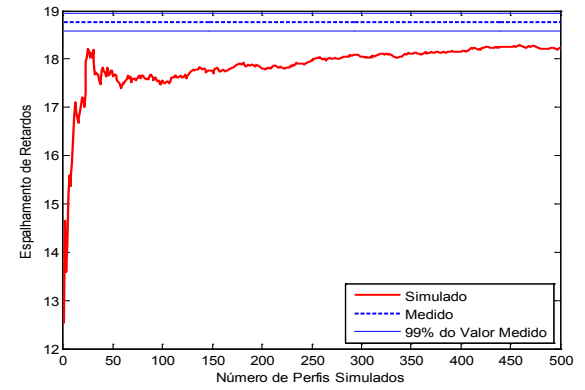
(a)



(b)

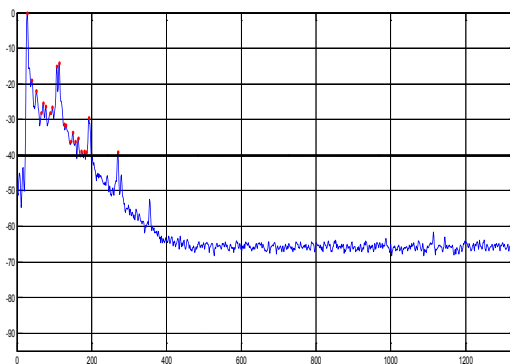


(c)

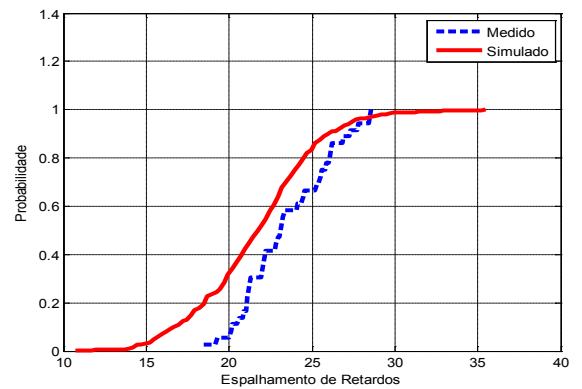


(d)

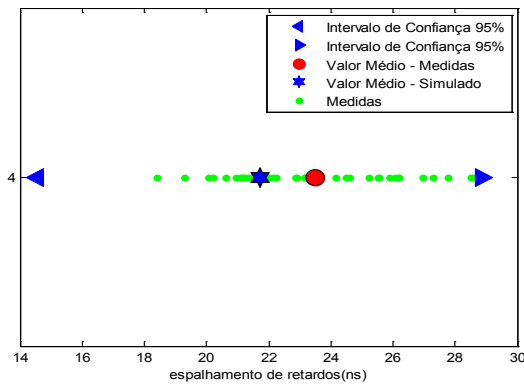
Figura A.15 Gráficos do Local 3 do Ambiente A5: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



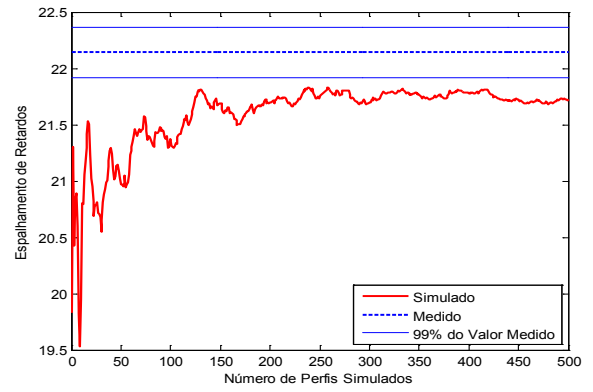
(a)



(b)

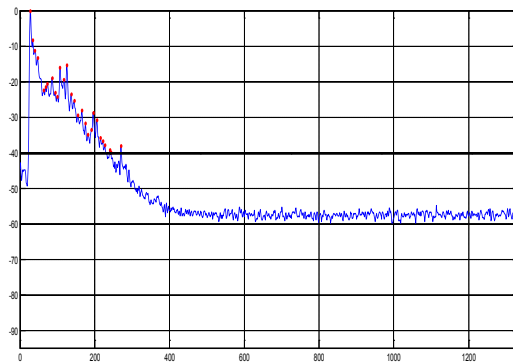


(c)

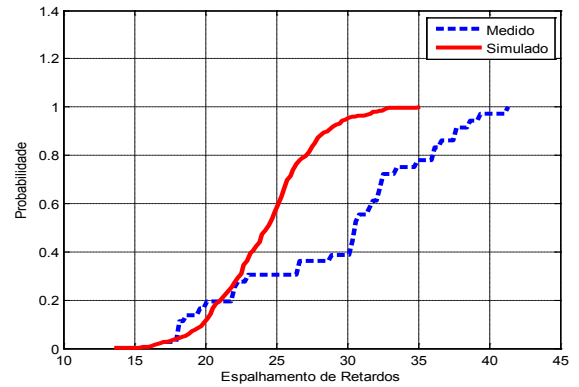


(d)

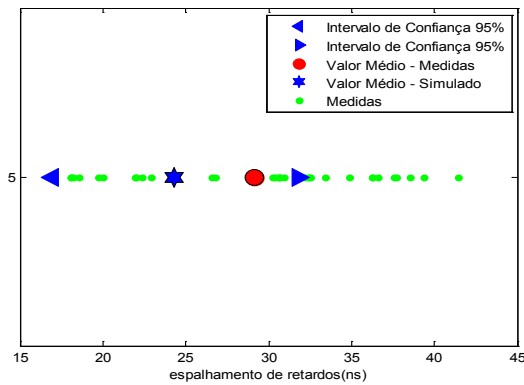
Figura A.16 Gráficos do Local 4 do Ambiente A5: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



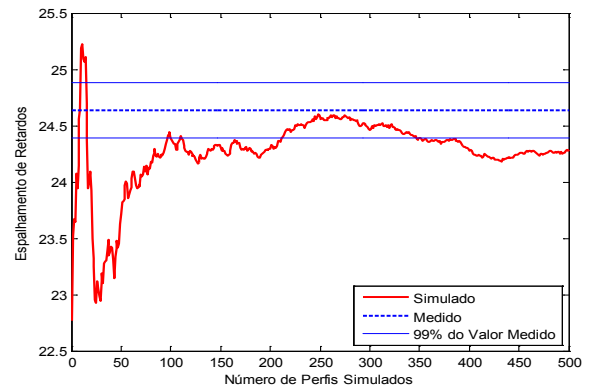
(a)



(b)

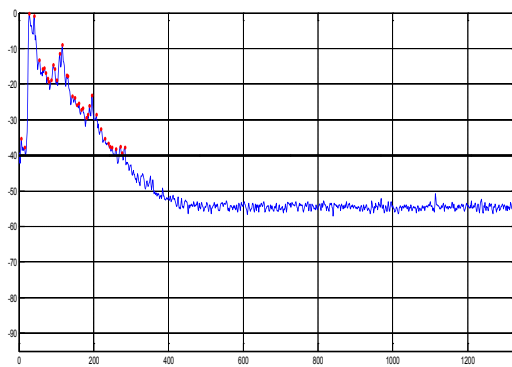


(c)

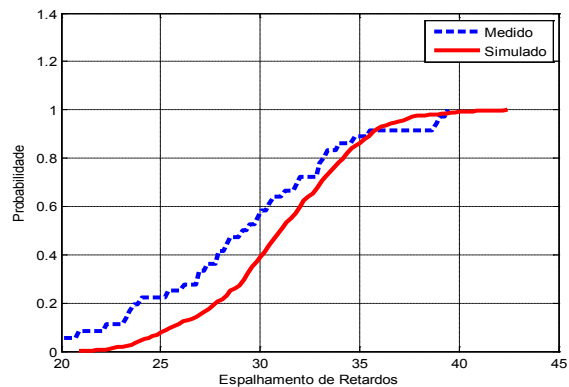


(d)

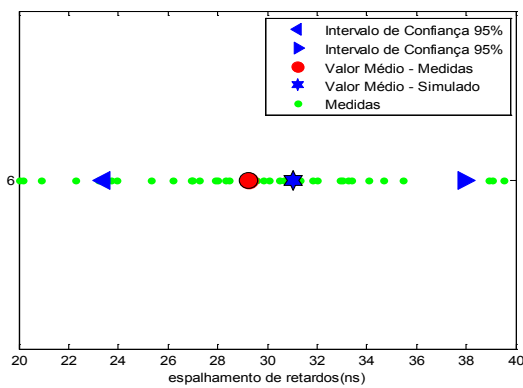
Figura A.17 Gráficos do Local 5 do Ambiente A5: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



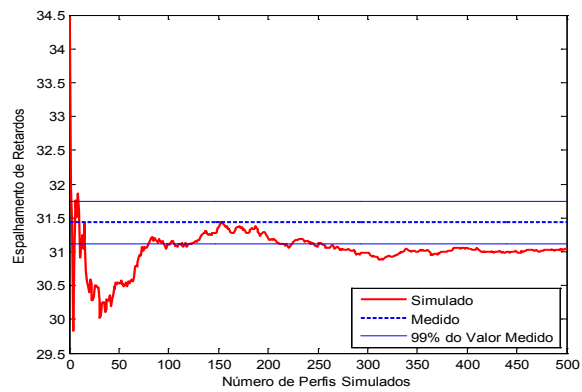
(a)



(b)



(c)



(d)

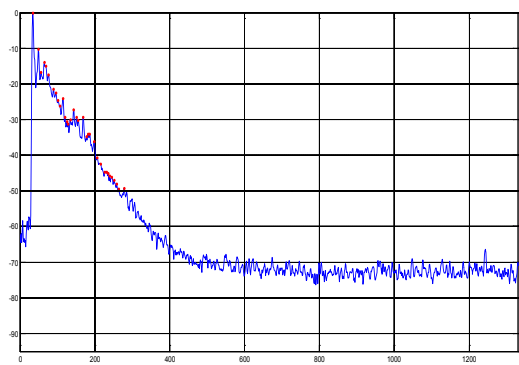
Figura A.18 Gráficos do Local 6 do Ambiente A5: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados

A.4 Ambiente A6

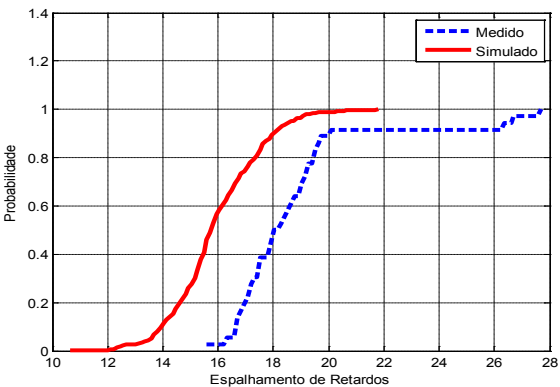
Os resultados do ambiente A6, descrito no Capítulo 4, são apresentados a seguir. Este ambiente corresponde ao *hall* do prédio de Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Este ambiente difere do ambiente A5, pois, neste caso, o receptor foi mantido fixo e o transmissor deslocado para os seis pontos de medidas.

Ambiente				Parâmetros		
				Espalhamento de retardo (ns)	Retardo Médio (ns)	Número de multipercursos
Locais	A6	Indoor	1	16	41	33
			2	29	25	29
			3	15	20	25
		Indoor-outdoor	4	18	32	26
			5	21	37	38
			6	28	45	31

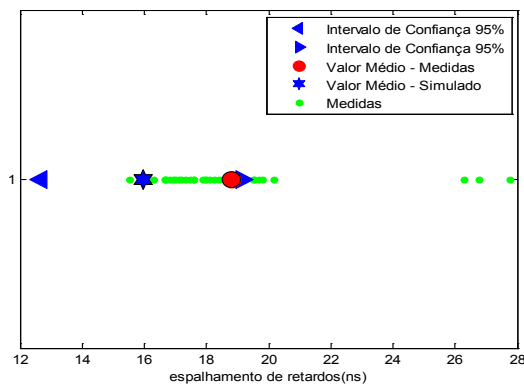
Tabela A.4 Parâmetros obtidos nas medições do ambientes A6



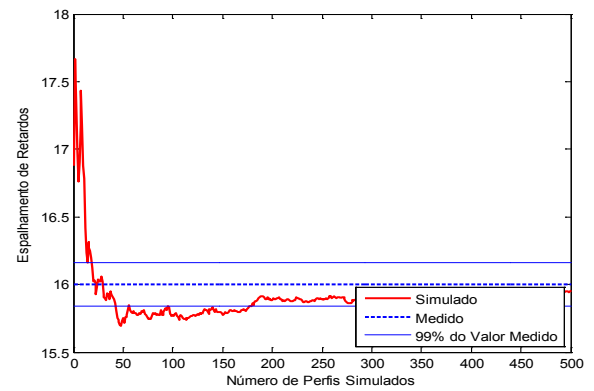
(a)



(b)

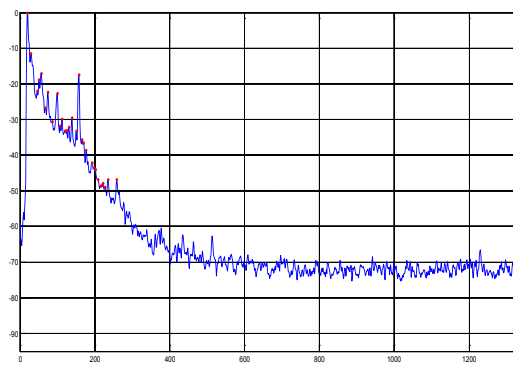


(c)

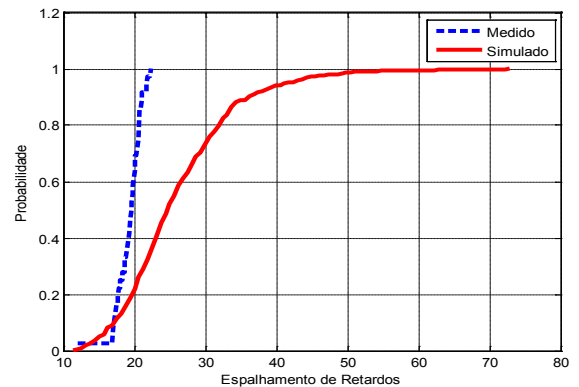


(d)

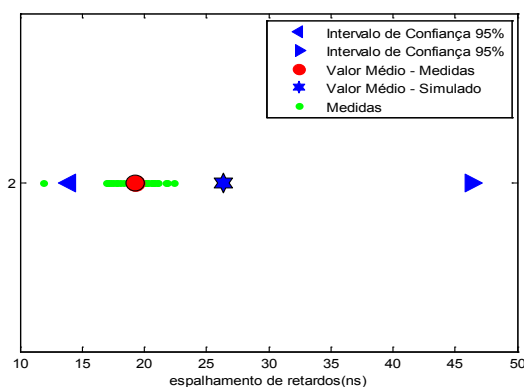
Figura A.19 Gráficos do Local 1 do Ambiente A6: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



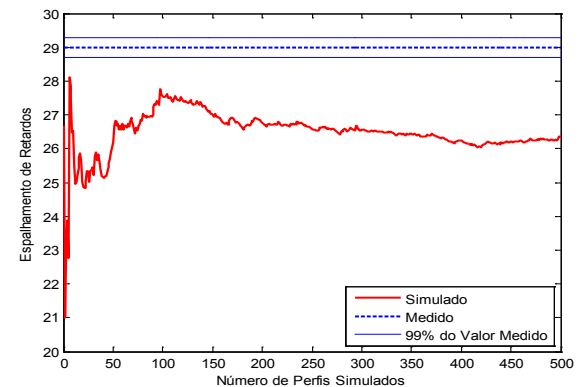
(a)



(b)

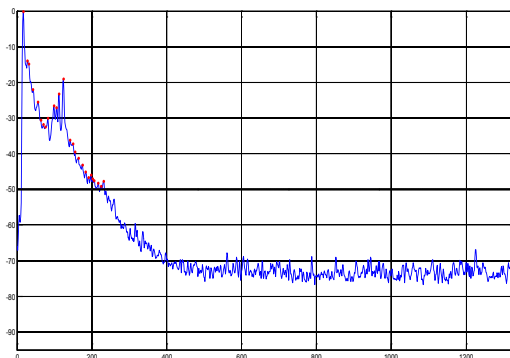


(c)

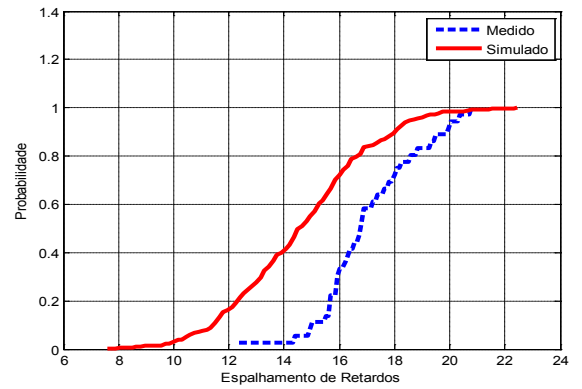


(d)

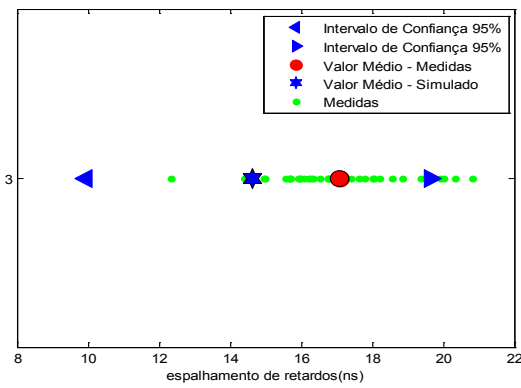
Figura A.20 Gráficos do Local 2 do Ambiente A6: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



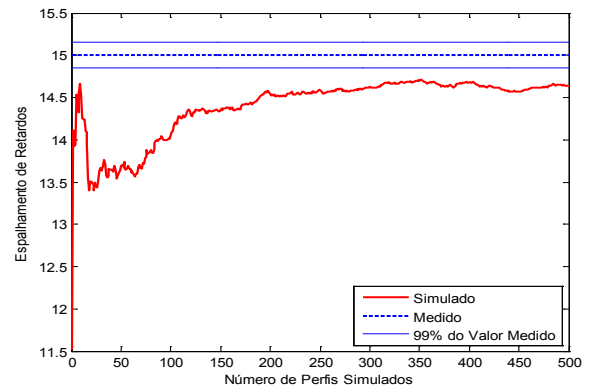
(a)



(b)

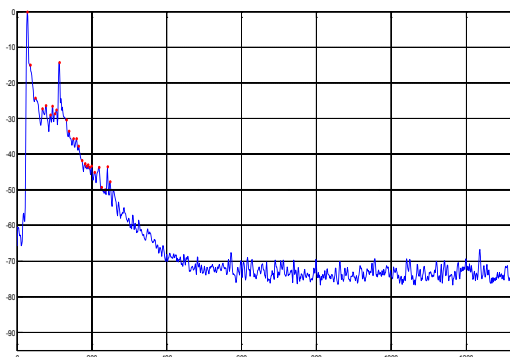


(c)

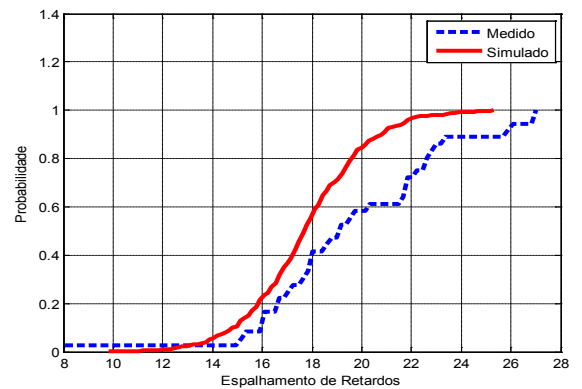


(d)

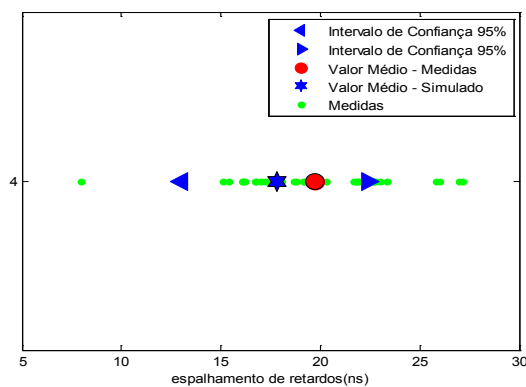
Figura A.21 Gráficos do Local 3 do Ambiente A6: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



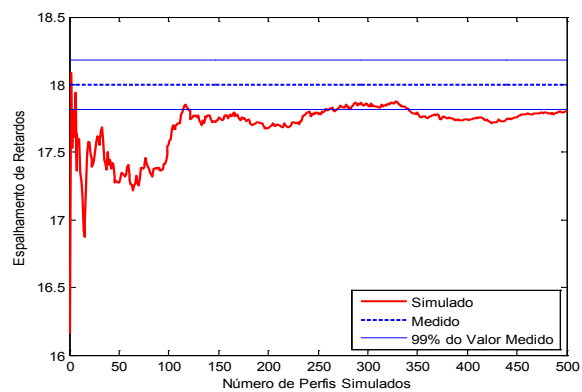
(a)



(b)

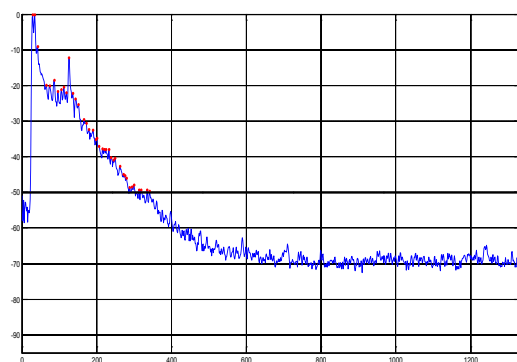


(c)

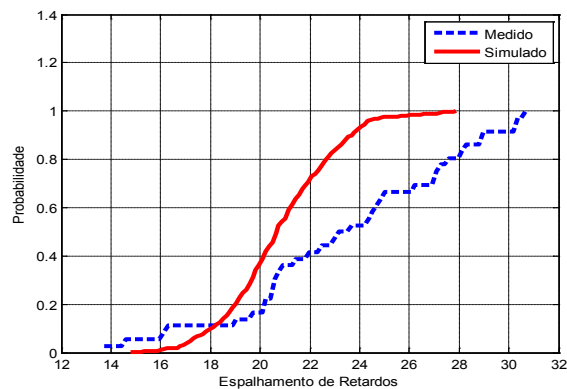


(d)

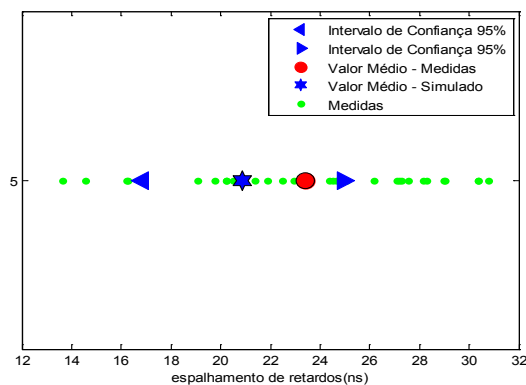
Figura A.22 Gráficos do Local 4 do Ambiente A6: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



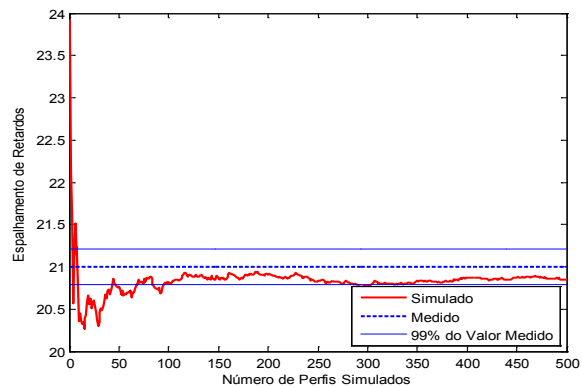
(a)



(b)

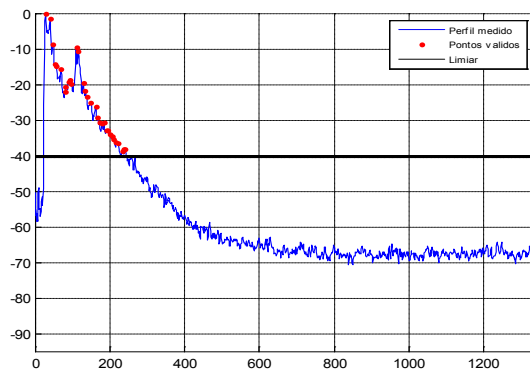


(c)

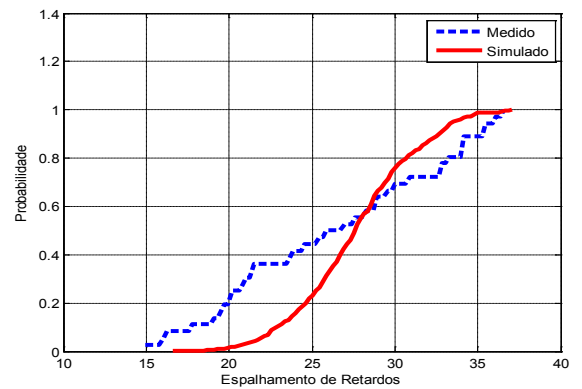


(d)

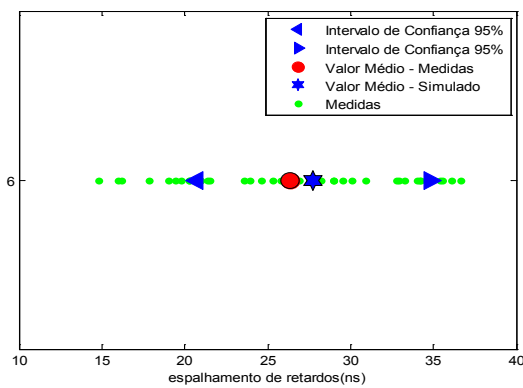
Figura A.23 Gráficos do Local 5 do Ambiente A6: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados



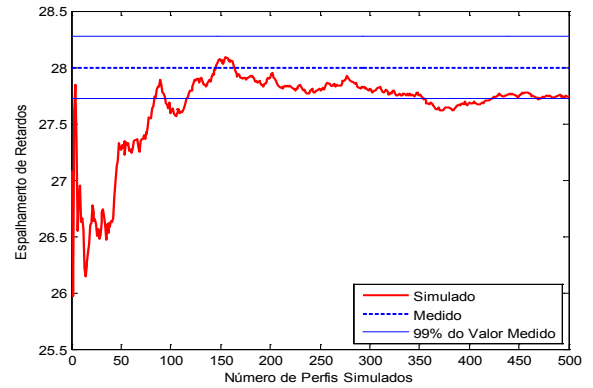
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura A.24 Gráficos do Local 6 do Ambiente A6: (a) perfil médio de retardos do grid, (b) função distribuição de probabilidade, (c) comparação de valores de espalhamento de retardos e (d) espalhamento de retardos x perfis simulados